

Psychologie

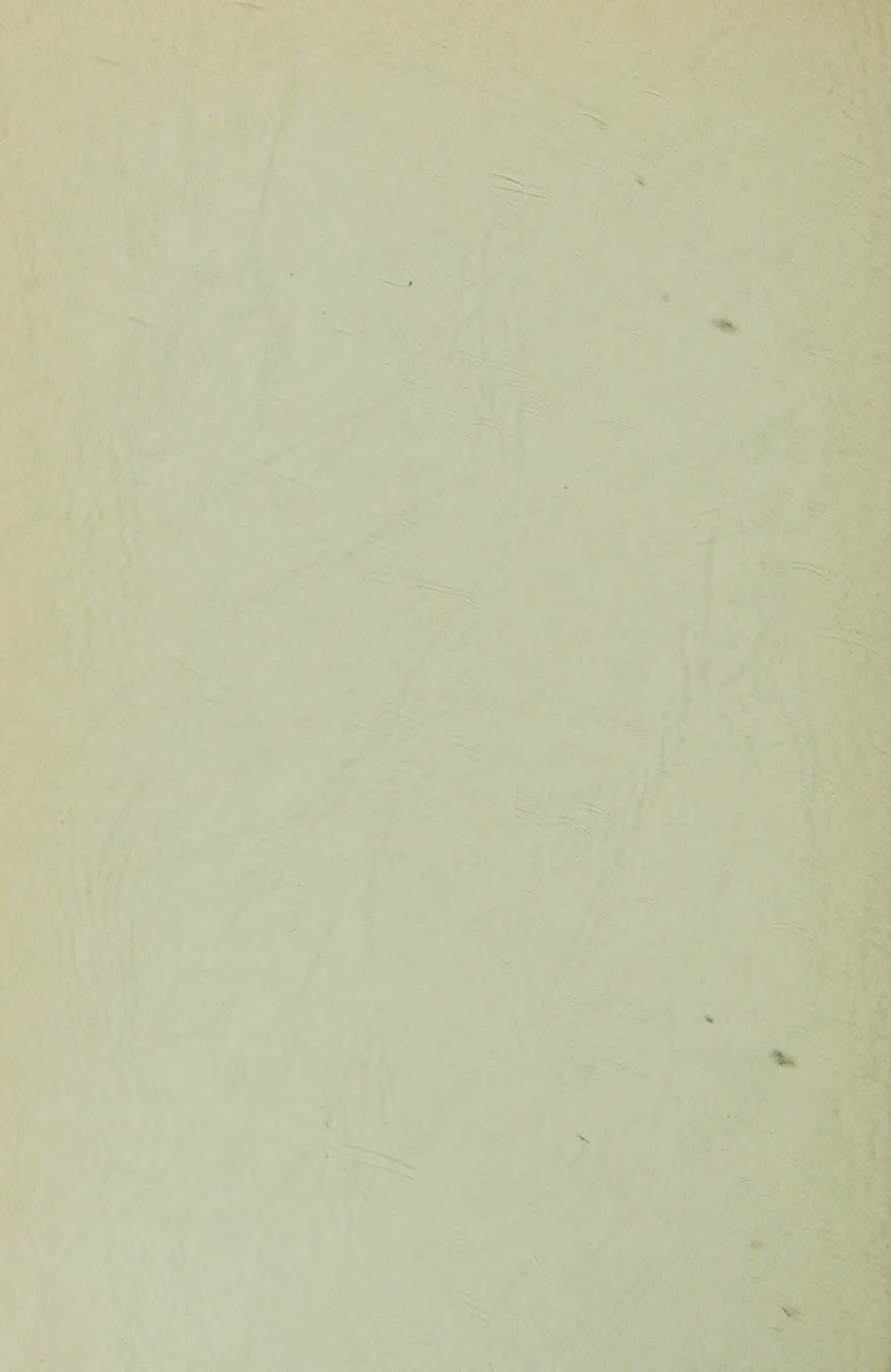
Zur Frage komplexer menschlicher Informationsverarbeitung – subjektiver Informationsgehalt und subjektive Wahrscheinlichkeit

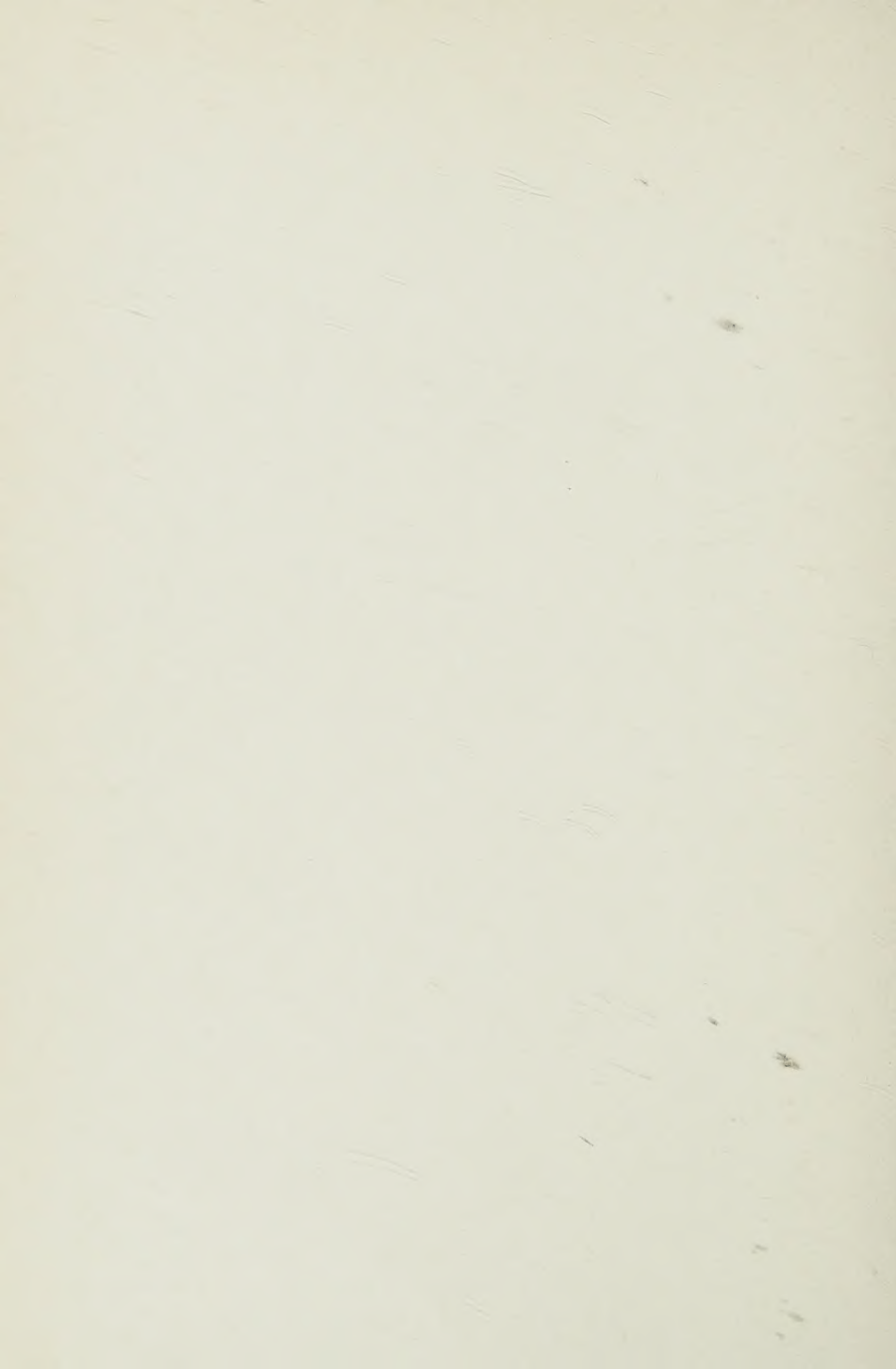
Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der
Philosophischen Fakultät
der
Westfälischen Wilhelms-Universität
zu
Münster (Westf.)

vorgelegt von

Heinz-Werner Wickboldt
aus Itzehoe

1980







Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555428_0023



Psychologie

ZUR FRAGE

KOMPLEXER MENSCHLICHER INFORMATIONSVERARBEITUNG -
SUBJEKTIVER INFORMATIONSGEHALT
UND SUBJEKTIVE WAHRSCHEINLICHKEIT

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der
P h i l o s o p h i s c h e n F a k u l t ä t
der
Westfälischen Wilhelms-Universität
zu
Münster (Westf.)
vorgelegt von
Heinz-Werner Wickboldt
aus Itzehoe
1980

Tag der mündlichen Prüfung: 26. November 1980

Dekan: Frau Prof. Dr. M. E. Brockhoff

Referent: Professor Dr. H. Kallina

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. T. Bösner



Vorwort

Die Situation in der experimentellen Psychologie stellt sich mir so dar, daß die Grundlagenforschung durch den Anwendungsaspekt ('Praxisbezug') weitgehend zurückgedrängt wird, der von aussen an die Forscher herangetragen worden ist. Ausserhalb des Hochschulbereiches steht die Frage nach der Nützlichkeit im Vordergrund, ist Wirtschaftlichkeit oberstes Gebot - obwohl eine kommerzielle Einschätzung psychologischer Versuchsergebnisse aus verständlichen Gründen meist schwer fallen dürfte.

Aber auch im Hochschulbereich werden Fragestellungen grundsätzlicher Natur in psychologischen Examensarbeiten und Dissertationen nur äusserst sporadisch angegangen. Betrachtet man den üblichen Studiengang, ist dieses - an sich unvermutete - Phänomen leicht zu verstehen, wird doch den Studenten nur ein - zwar methodisch umfassendes und statistisch abgesichertes - Instrumentarium zur Verfügung gestellt, mit dem anhand definierter Fragestellungen (u.a. über den Prozeß der 'Operationalisierung') aufgrund von Hypothesen Theorien geprüft und Modelle verworfen werden können. Diese überkommenen Verfahren - oft als 'Rezept' angewandt - sind jedoch blind in dem Sinne, dass sie ohne Rücksicht auf den essentialen Gehalt des psychologischen Geschehens akkomodiert werden.

In einer grundlegenden Forschung dagegen sollten jedoch formales Modell und sein experimentelles Korrelat aufeinander abgestimmt und derart bezogen sein, dass beide eine funktionale Einheit bilden, in der das gleiche Geschehen in den systemeigenen Sprachen beschrieben wird und nachvollzogen werden kann - ein Prozess von Wechselbeziehungen und gegenseitigen Verflechtungen, der im kybernetischen Begriffsinventar mit der Bezeichnung 'Simulation' umschrieben werden würde.

Die herkömmliche Schulpsychologie ist so ausgerichtet, dass sie sich bei der Ausbildung von Studenten weitgehend an den Anforderungen zu orientieren versucht, die in der späteren Berufspraxis an den Psychologen hergetragen werden. In diesem Sinne ist auch der primäre Anwendungsaspekt psychologischer Forschung im Hochschulsektor zu erklären: Einerseits wird nicht gelehrt, selbständig ein geeignetes, methodisches Instrumentarium zur Erfassung der meist komplexen psychologischen Prozesse zu entwickeln - sondern nur der Einsatz und die Anwendung bereits erprobter, vorliegender Verfahren wird geübt; andererseits steht als elementare Konsequenz dieser Praktiken auch an der Hochschule die Frage nach dem Ziel, der Nützlichkeit der Forschungsergebnisse im Vordergrund - wobei hervorzuheben ist, dass gerade die Grundlagenforschung langfristig in der Lage ist, genau das nötige Werkzeug zur Verfügung zu stellen, um befruchtend auf die zum Teil in Stagnation und Leerlauf befindliche überkommene Forschung einzuwirken und auch im Anwendungsbereich neue Perspektiven zu eröffnen.

In dieser Arbeit sollen grundsätzliche Phänomene des kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses erörtert und geklärt werden. Ausgehend von der topologischen Psychologie Lewins (53) werden zunächst behavioristische und gestalttheoretische Ansätze diskutiert, und die einschlägige, einführende Literatur wird referiert und kommentiert. Mit Hilfe systemtheoretischer Überlegungen wird ein geeignetes formales Modell entwickelt und seine Umsetzung in das Experimentierfeld - den konkreten Problemzustand - verwirklicht. Im Rahmen des Modelles lassen sich reale Problemlösungsprozesse informationstheoretisch beschreiben, skalieren und miteinander vergleichen. Fundamentale Beziehungen zwischen subjektiven und/oder objektiven Informationsgehalten und/oder Wahrscheinlichkeiten werden experimentell erforscht und ihre funktionalen Zusammenhänge geklärt.

Meinem Lehrer, Herrn Professor Dr. Herbert M. Kallina, danke ich für ungezählte Gespräche, die mir einen tiefen Einblick in die philosophische Tradition der Psychologie vermitteln. Sie haben mein Blickfeld erweitert, haben Anregungen geliefert und mir Ideen nahegebracht, die essential in diese Arbeit eingehen. Auch gegenüber konkreten Fragen zur speziellen Gestaltung und Interpretation einzelner Abschnitte war er aufgeschlossen und gab sein Wissen und seine Erfahrung sowohl in inhaltlichen, methodischen als auch formalen Aspekten weiter.



<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
<u>0.-----Einführung</u>	1
0.1. Dilemma in der kognitiven Forschung	2
0.2. Fragestellung und Zielsetzung	4
0.3. Methodische Aspekte	6
0.4. Kurze Einführung in "Kodebrecher"	7
0.4.1. Spielregeln	8
0.4.2. Diskussion exemplarischer Problemlösungsprozesse	9
0.4.2.1. Ein optimales Spiel	9
0.4.2.2. Ein redundanter Problemlösungsprozeß	11
<u>1.-----Einleitung</u>	12
1.1. Erscheinungsweise und Wirklichkeit in der Psychologie	12
1.2. Das Prinzip der Wirkung	14
1.3. Quasi-physikalische Fakten	15
1.3.1. Konsequenzen für die experimentelle Psychologie	16
1.3.2. Medizinische Psychologie und physiologische Psychologie	17
1.4. Verhaltensgleichung und psychologische Fremdbeobachtung	19
1.4.1. Methodischer Ausblick	22
<u>2.-----Theoretische Grundlagen</u>	24
2.1. Aspekte des Denkens: Behaviorismus und Gestaltpsychologie	25
2.2. Prozeßcharakter des Denkens	28
2.3. Kognitive Forschung und Problemlösen	32
2.4. Definition einer Problemsituation	36
2.5. Kognitive Prozesse beim Lösen von Problemen	38

	Seite
<u>3. ----- Das Problemlösungsspiel Kodebrecher</u>	44
3.1. Informationstheoretischer Zugang	44
3.1.1. Das Problemlösungsspiel Kodebrecher aus informationstheoretischer Sicht	46
3.2. Die Interpolationsbarriere in Kodebrecher	48
3.3. Zum Einsatz eines programmierbaren Rechners als Rückmeldeeinheit	50
3.4. Mathematische Beschreibung von Kodebrecher	52
3.4.1 Auftretenswahrscheinlichkeit der Anzeigen nach dem ersten Zug	52
3.4.2. Systemtheoretische Struktur	56
3.5. Kognitiver Informationsverarbei- tungsprozess bei Kodebrecher	57
3.5.1. Stochastisch unabhängige Züge	60
3.5.2. Gliederung des kognitiven Informa- tionsverarbeitungsprozesses in die Anfangs- und Endphase	61
3.5.3. Zur Redundanz im kognitiven Informationsverarbeitungsprozeß	64
3.5.4. Zusammenfassende Darstellung der drei Phasen im Problemlösungsprozess	66
3.5.5. Beispielrechnung	67
3.5.6. Verzweigungsstruktur in der Endphase	68
3.6. Informationsgehalt der Anzeigen in der Anfangsphase	70
3.7. Informationsgehalt der Anzeigen in der Endphase	74
<u>4. ----- Versuchsdurchführung</u>	78
4.1. Zum semantischen Aspekt bei Kodebrecher	78
4.2. Zum operationalen Aspekt bei der Bedienung des Taschenrechners	80
4.3. Versuchsanweisung	81
4.3.1. Subjektiver Informationsgehalt und subjektive Wahrscheinlichkeit	84

	Seite
<u>5.-----Versuchsauswertung und Interpretation</u>	87
5.1. Das Problemlösungsverhalten bei Codebrecher	89
5.1.1. Die Maße bezüglich der Anzahl der Züge: u , e und n	96
5.1.2. Die informationstheoretischen Maße tI , $ID(a+u)$, $ID(a)$ und $ID(u)$	107
5.1.3. Die Maße bezüglich der Kombinationsphase: tIK , $IKD(n-1)$, $IKD(a)$, $IKD(u)$ und $IKD(a+u)$	122
5.1.4. Ausblick auf den Anwendungsbereich	132
5.2. Zur direkten Skalierung der subjektiven Information	134
5.2.1. Subjektive Information auf Rangreihenskalenniveau	135
5.2.2. Quantitative Skalierung auf Intervallskalenniveau: Die standardisierte subjektive Information sIG	139
5.2.3. Quantitative Skalierung auf Intervallskalenniveau: Der normierte subjektive Informationsgehalt I_s	146
5.3. Subjektive Auftretenswahrscheinlichkeit und subjektiver Informationsgehalt	159
5.4. Ähnlichkeitsbeurteilung des Informationsgehaltes	169
<u>6.-----Das Rechnerprogramm</u>	176
<u>7.-----Anhang</u>	179
7.1. Bedingte Ziffernfolgen für den zweiten Zug	179
<u>8.-----Zusammenfassung</u>	183
<u>Verzeichnis häufig verwandter</u>	
<u>Termini und Symbole</u>	186
<u>Literaturverzeichnis</u>	190

O.

Einführung

Zur Einführung erscheinen mir folgende Ausführungen von Süllwold (69) und Klix u. Rautenstrauch-Goede (67) gut geeignet. Süllwold kam 1959 in seinem Aufsatz: "Bedingungen und Gesetzmässigkeiten des Problemlösungsverhaltens" zu folgendem Schluss:

"Es ist offensichtlich, dass bei dem Bemühen, Formen und Bedingungen des Problemlösungsverhaltens zu erfassen und zu beschreiben, eine Fülle von Aspekten berücksichtigt werden muss. Die bisher durchgeführten Untersuchungen haben bereits zu einer Reihe relativ gut gesicherter Ergebnisse geführt. Angesichts der Vielfalt der Fragen und der sich - namentlich für die experimentelle Forschung - bietenden Möglichkeiten der Untersuchung erscheint es aber wohl angemessen festzustellen, dass wir uns keineswegs am Ende, sondern vielmehr in einem verhältnismässig frühen Stadium der wissenschaftlichen Durchdringung des Bereichs der Problemlösungsvorgänge befinden."

Die fundamentalen Schwierigkeiten bei der Erfassung des Problemlösungsverhaltens sind von Klix und Rautenstrauch-Goede im Jahre 1967 in ihrer grundlegenden Arbeit über Struktur- und Komponentenanalyse von Problemlösungsprozessen anhand des 'Turm von Hanoi' folgendermassen beschrieben worden:

"Jede psychologische Analyse, der es um die Bestimmung gewisser Eigenschaften von Denkprozessen und somit auch von Problemlösungsprozessen geht, ist einer doppelten Schwierigkeit ausgesetzt. Einmal verlaufen die zu untersuchenden Prozesse unsichtbar, sie sind entweder vollständig verinnerlicht oder sie haben keine eindeutige Form sichtbaren Ausdrucks. Denkstruktur und Verhaltensstruktur liegen oft weit auseinander. Die zweite Schwierigkeit besteht darin, dass auch das besondere Mittel und Resultat menschlichen Denkens, die Sprache nämlich, unzuverlässig wird, wenn es darum geht, das eigene Denken zu beschreiben. Einmal sind die Denkopoperationen in ihrem bewusst-

¹ Süllwold, Fritz: Bedingungen und Gesetzmässigkeiten des Problemlösungsverhaltens, in Graumann, Carl Friedrich: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969, S. 287

seinsfähigen Anteil so flüchtig, dass eine nachträgliche Beschreibung einfach verfälschend wirkt. Viele Eigenschaften von Denkvollzügen sind zudem überhaupt nicht verbalisierbar. Das gilt naturgemäss auch für unser Vorhaben, gewisse Komponenten im Problemlösungsverhalten zu bestimmen, die der Effektivität von Denkleistungen zugrunde liegen. Die Schwierigkeiten, recht bedacht, scheinbaren Hoffnungslosigkeit zu rechtfertigen.

Wir haben eine Näherung an die bezeichnete Problemlage versucht, die in einigen Zügen begründet sei. Uns schien, dass die Vieldeutigkeit, die schillernde Vielfalt von Denkeigenschaften an einem Problem besonders dann sehr gross ist, wenn die Problemlage selber wenig eindeutig ist oder auf vielfache Weise verstanden werden kann. Eine starke Beschränkung in den Freiheitsgraden, der Zwang, gleichsam nur an einem Schanier zu denken, wird natürlich auch viel verdecken, was an Eigenschaften in Problemlösungsprozessen untersuchenswert ist. Uns schien es aber vorteilhafter, über das kleine Wenige etwas Genaueres zu wissen anstatt über das grosse Ganze viel Unge-
naues."

O.1. Dilemma in der kognitiven Forschung

Diese beiden Zitate - exemplarisch ausgewählt aus einer Fülle von Veröffentlichungen - zeigen einen Teil der spezifischen Schwierigkeiten auf, denen sich die psychologische Forschung gegenüber sieht, sobald sie kognitive Prozesse experimentell zu erfassen sucht. Unser Wissen um menschliche Denkvorgänge ist noch sehr beschränkt, meist von einem begrenzten theoretischen Hintergrund deduktiv abgeleitet oder durch Introspektion gewonnen.

¹ Klux, F. u. Rautenstrauch-Goede, K.: Struktur- und Komponentenanalyse von Problemlösungsprozessen, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 174 (1967), Heft 3/4, S. 168 u. 169

Auf den ersten Blick erscheint die Anzahl der bereits vorliegenden Untersuchungsbefunde umfangreich zu sein¹, ihre umfassende Integration erweist sich jedoch aufgrund der unterschiedlichen methodischen Verfahren als schier unmöglich und wird auch von den meisten Autoren praktisch nie intendiert. Die Generalisierbarkeit der veröffentlichten Ergebnisse ist gering, und durch leichte Aspektverschiebungen kann sich ihre Interpretation oft grundlegend wandeln.

Es fehlt vor allen Dingen ein geeignetes Instrumentarium, das es gestattet, Experimente im Sinne von Wundt (14) durchzuführen: Kontrollierbar, wiederholbar und variiert. Besonders das Kriterium der Wiederholbarkeit ist in der psychologischen Forschung eine restriktive Forderung, die in letzter Konsequenz dazu führt, dass ein Experiment nur ein einziges Mal von derselben Versuchsperson durchlaufen werden kann (und darf): Hat z.B. ein Organismus ein gestelltes Problem einmal gelöst, erinnert er sich an sein Problemlösungsverhalten und kann es z.T. reproduzieren.

Denkvorgänge sind zumeist komplexer Natur und werden durch die Sozialisation in dem Sinne beeinflusst, dass sich in ihnen mannigfaltige Wechselwirkungen zwischen der vorgegebenen Problemsituation und den bisherigen Erfahrungen des Menschen widerspiegeln, die auf keinen Fall in ihrer Gesamtheit eruiert werden können. Die enormen methodischen Schwierigkeiten erklären einerseits das - im Gegensatz zu theoretischen Abhandlungen - relativ sporadische Erscheinen von Veröffentlichungen über die experimentelle Erforschung menschlicher Denkvorgänge und andererseits die stringente, radikale Beschränkung des Experimentierfeldes auf die Untersuchung ganz speziellen Problemlösungsverhaltens (wie z.B. Schach etc.), was den Geltungsbereich der so gewonnenen Ergebnisse stark einengt. Die Aussagen sind somit nicht miteinander vergleichbar oder in einen anderen Bereich psychologischer Forschung zu transferieren, sondern sind praktisch isoliert im Rahmen der Fragestellung zu sehen.

0.2. Fragestellung und Zielsetzung

Ziel der vorliegenden, experimentellen Arbeit ist es, ein Instrument zur Erfassung und Beschreibung kognitiver Informationsverarbeitungsprozesse zu entwickeln, vorzustellen und zu diskutieren, bei dem die restriktiven Beschränkungen im psychologischen Umfeld dergestalt sind, dass die Voraussetzungen explizit angegeben werden können, die bei den betreffenden Versuchspersonen zu den jeweiligen Ergebnissen führen. Der Problemlösungsvorgang wird in einzelne, diskrete Teilschritte aufgespalten und der Entscheidungsprozess anhand von direkt skalierbaren, bedingten Übergangswahrscheinlichkeiten sukzessiv verfolgt.

Um psychologische Wechselwirkungsphänomene mit anderen Personen zu vermeiden, wird ein Kleincomputer eingesetzt. Einerseits kann dann durch die geeignete Wahl der Komplexität der motivationale Anreiz zur Problemlösung erhöht werden, und andererseits ist die Kommunikation des Mensch-Maschine-Systems ohne fehlerbehaftete Rückmeldungen systemtheoretisch erfassbar.

¹ Anm.: Einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand der kognitiven anglo-amerikanischen Forschung vermitteln folgende Bücher:

1. Massaro, Dominic W.: Experimental Psychology and Information Processing. Mc.Nally College Publishing Company, Chicago 1975
2. Norman, Donald A. and Rumelhart, David E.: Explorations in Cognition. Freeman & Co., San Francisco 1975
3. Bourne, Lyle E., Dominowski, Roger L. and Loftus, Elizabeth F.: Cognitive Processes. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1979

Auf der Grundlage kontrollierter Versuchsbedingungen und exakter Information über den Problemverarbeitungsprozess wird in einer anschliessenden Metakommunikation mit der jeweiligen Versuchsperson über erfahrene Häufigkeiten und den subjektiven Informationsgehalt der Rückmeldungen des Rechners Aufschluss gewonnen über die funktionalen Zusammenhänge zwischen subjektiven und objektiven Grössen: Die praktisch einzig gesicherten Literaturdaten über den Zusammenhang von subjektiver und objektiver Wahrscheinlichkeit von Attneave (53), deren experimentelle Reproduktion bislang nicht möglich gewesen ist, werden nicht nur verifiziert, sondern durch die geeignete Wahl der Auftretenswahrscheinlichkeiten über mehrere Zehnerpotenzen kann sogar eine zweite Interpretation der Versuchsergebnisse diskutiert werden. Die seit Jahrzehnten nicht nur in der kybernetischen Psychologie anstehende Frage zur Beziehung zwischen subjektivem Informationsgehalt und subjektiver Wahrscheinlichkeit kann mit den gewonnenen Daten experimentell erschöpfend beantwortet und phänomenologisch erklärt werden, was sich ohne Zweifel äusserst befruchtend auf die bislang stagnierende Diskussion auswirken wird. Der Zusammenhang zwischen subjektivem und objektivem Informationsgehalt wird zum ersten Mal in der Geschichte der Psychologie direkt experimentell erfasst¹ und über ein geeignetes Normierungsverfahren mathematisch eindeutig beschrieben. Die die angewandte Psychologie seit Jahren bewegende Frage nach der Möglichkeit der Skalierung über Ähnlichkeitsurteile wird angegangen, indem auf der Basis von Absoluturteilen über ein Ähnlichkeitsmodell die Ähnlichkeitsmatrix berechnet wird und ihre Elemente mit den direkt abgegebenen Ähnlichkeitsurteilen verglichen werden.

¹ Anm.: Ein in der Literatur dagegen übliches Vorgehen besteht darin, indirekt von der subj. Wahrscheinlichkeit auf den subj. Informationsgehalt zu schliessen. - Vgl. Glg. (29) in Kap. 5.2.3..

Ein wissenschaftlich übliches Vorgehen zur experimentellen Überprüfung psychologischer Fragestellungen besteht darin, mit Hilfe von statistischen Verfahren Aussagen über den Gültigkeitsbereich von Hypothesen zu gewinnen, die den Einfluss (kontrollierbarer) unabhängiger Variablen auf (direkt oder indirekt beobachtbare) abhängige Variablen beschreiben, um so Modelle (evt. auch Konstrukte) und/oder Theorien zu erhärten oder zu verwerfen, die das studierte organismische Verhalten erklären. Im Rahmen der Zielsetzung dieser Arbeit muss ein prinzipiell anderer Zugang zur methodischen Erfassung der relevanten Parameter gewählt werden: Nicht der Einfluss einer oder mehrerer Variablen ist Gegenstand der Untersuchung, sondern in der hier vorliegenden Arbeit sollen zunächst fundamentale Aspekte kognitiver Informationsverarbeitung erforscht und - über die Entwicklung geeigneter Modellvorstellungen - skalierbar gemacht werden; auf dieser Basis können dann die grundlegenden Beziehungen zwischen objektiven und subjektiven Wahrscheinlichkeiten und Informationsgehalten experimentell erfasst werden.

Über die topologische Psychologie Lewins (69) hinausgehend werden in Kap. 1. zunächst ihre Annahmen angewendet, um ein handhabbares Kriterium für eine optimale Fremdbeobachtung zu extrahieren, das maßgeblich in die Versuchsplanung ein- geht.

Auf dem Hintergrund verschiedener psychologischer Schulen wird im folgenden Kap. 2. zunächst ein theoretischer Überblick über die jeweiligen Ansichten vom Ablauf kognitiver Prozesse vermittelt, und die Implikationen dieser Ansätze werden aufgezeigt und diskutiert; ihre Essenz fließt wesentlich in das informationstheoretische Vorgehen von Kap. 3.1. ein. Anschliessend wird der aktuelle Stand

der Literatur speziell zum menschlichen Problemlösungsverhalten referiert und erörtert; dies dient u.a. der Erweiterung des Verständnisses der ablaufenden kognitiven Prozesse, einer Klärung bzw. Definition der verwendeten Begriffe, der Formalisierung und umfassenden Systematisierung. Aufgrund der erarbeiteten Klassifikationen lässt sich der Typ des in dieser Arbeit untersuchten Problems in Kap. 3.2. charakteristisch spezifizieren.

Auf informationstheoretischer Basis werden in Kap. 3. die Bedingungen zum Studium von reinen Denkvorgängen aufgezeigt. Die Entwicklung eines systemtheoretischen Modells des Problemlösungsspiels "Kodebrecher" gestattet es dann, den studierten Problembewältigungsprozess zu formalisieren und in verschiedene Phasen der Informationsgewinnung und -verwertung aufzuteilen.

0.4. Kurze Einführung in "Kodebrecher"

Um einen einführenden Überblick über das Problemlösungsspiel "Kodebrecher"¹ zu geben, wird dieses zunächst kurz vorgestellt; zum besseren Verständnis werden anschliessend einige reale Problembewältigungsprozesse exemplarisch diskutiert. Vgl. auch Kap. 4.3.: Versuchsanweisung.

¹ Anm.: "Kodebrecher" ist in grundsätzlich gleicher systemtheoretischer Version als Brettspiel unter dem Namen "Master Mind", "Superhirn" und auch "Grosshirn" im Handel. Rückmeldungen gibt dort ein Mitspieler.

Seit Ende 1979 überflutet eine Reihe bereits (fest) vorgeprogrammierter Spiele in einer Art Taschenrechnerausführung den Markt, in denen - wie in der vorliegenden Arbeit - der menschliche Mitspieler durch einen programmierten Algorithmus ersetzt worden ist.

0.4.1.

Spielregeln

In einem programmierten Taschenrechner wird über einen Zufallszahlengenerator intern eine vierstellige Zahl erzeugt, deren Ziffern aus Elementen der Menge (1, 2, ..., 9) bestehen; keine Ziffer kommt mehrfach vor. So ist z.B.

'2387' eine mögliche ("Geheim"-) Zahl (oder Kode), während '2087' (wegen der '0') und '2382' (wegen der doppelt auftretenden '2') 'unmögliche' Ziffernfolgen repräsentieren.

Aufgabe der Versuchspersonen ist es, diese Zahl mit möglichst wenigen Schritten zu bestimmen, indem sie eine der möglichen Ziffernfolgen (z.B. '1234') in den Rechner eintasten; unmögliche Zahlen (wie z.B. '2087' oder '2382') sind laut Versuchsanweisung nicht erlaubt.

Im Computer wird dann die eingetastete Ziffernfolge mit der intern erzeugten Geheimzahl verglichen, und im Display des Rechners erscheint die Anzahl der richtigen Ziffern an der richtigen Stelle in der Anzeige vor dem Punkt ('.') und die Anzahl der sowohl in der eingetasteten Zahl wie auch der Geheimzahl enthaltenen Ziffern, die sich allerdings in der falschen Position befinden, nach dem Punkt. Dies sei im folgenden kurz demonstriert:

Die intern erzeugte Geheimzahl sei '2385'. Auf die eingetastete Ziffernfolge '1234' erhält der Problemlöser '0.2' als Rückmeldung des Rechners; keine Ziffer befindet sich an der richtigen Stelle, aber die '2' und die '3' sind Elemente der Geheimzahl. Gibt der Problemlöser '2489' ein, antwortet der Rechner mit '2.0', da die '2' und die '8' an der richtigen Stelle stehen, während sonst keine weiteren Ziffern identisch sind. Bei dem Zug '2897' erscheint die Anzeige '1.1' im Display; die Ziffer '2' befindet sich in der richtigen Position ('1' vor dem Punkt), und ausserdem ist die '8' noch ein Element der Geheimzahl ('1' nach dem Punkt). Beim Aufleuchten der Anzeige '4.0' stehen alle 4 Ziffern an der richtigen Stelle.

0.4.2. Diskussion exemplarischer Problemlösungsprozesse

Zur besseren Einsicht in den Problemcharakter bei "Kodebrecher" wird zunächst ein nahezu optimaler Problemlösungsprozess rational-logisch diskutiert. Hieran schliesst sich der Kommentar eines relativ redundanten Informationsverarbeitungsprozesses bis zur Problemlösung an.

Die von den Versuchspersonen eingetastete vierstellige Ziffernfolge wird im folgenden mit "Zug" bezeichnet.

0.4.2.1. Ein optimales Spiel

Als globale Strategie führt die Versuchsperson nur solche möglichen Züge aus, die nicht im Widerspruch zu der bereits vorhandenen, bedingenden Information aus den bisherigen Zügen und den Rückmeldungen des Rechners stehen.

Die intern erzeugte, dem Problemlöser nicht bekannte Geheimzahl ist '1645'.

Zug-Nr.	Zug	Anzeige des Rechners	Kommentar
1	4136		Manche Vp. versucht, die Geheimzahl zu erraten.
		0.3	3 Ziffern des Zug-Nr.1 sind in der falschen Position in der Geheimzahl enthalten.
2	1468		3 Ziffern des Zug-Nr.1 werden umgestellt; statt der '8' kommt die '3' hinein.
		1.2	Eine Ziffer befindet sich an der richtigen Stelle; 2 weitere sind in der falschen Position.

Zug-Nr.	Zug	Anzeige des Rechners	Kommentar
3	6451		Die Frage nach der Zugehörigkeit der Ziffern '1', '4' und '6' bzw. '8' wird geprüft; Die '5' wird statt der '8' neu aufgenommen, die verbleibenden Ziffern werden permutiert.
	0.4		In Zug-Nr.3 sind alle Ziffern der Geheimzahl enthalten, sie befinden sich jedoch an der falschen Stelle. Durch Kombination der bereits vorliegenden Information kann ein möglicher bedingter Zug elementar aus Zug-Nr.2 hergeleitet werden: Angenommen, die '1' befindet sich an der ersten Stelle, dann muss die '6' an zweiter Stelle stehen (wegen Zug-Nr.1 und 2); weiter muss dann die '5' sich an der vierten Stelle (wegen Zug-Nr.3) und die verbleibende '4' an dritter Stelle liegen.
4	1645		Diese Ziffernfolge steht nicht im Widerspruch zu der bisher erhaltenen Information.
	4.0		Das Problem ist gelöst.

Mit wachsender Zugzahl wird die kognitiv vom Problemlöser zu verarbeitende bedingende Information zunehmend komplexer, während die Unsicherheit über die Geheimzahl abnimmt.

Die systemtheoretische Struktur des kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses bei "Kodebrecher" wird in Kap. 3.4. mengentheoretisch beschrieben. In den nachfolgenden Kap. 3.5. bis 3.7. werden aus formalen Überlegungen heraus informationstheoretische Parameter zur allgemeinen mathematischen Skalierung des Problemlösungsverhaltens abgeleitet. Der Einfluss von Zufallskomponenten wird eliminiert.

0.4.2.2. Ein redundanter Problemlösungsprozeß

Bei dem hier vorgestellten Problemlösungsprozess handelt es sich um den einer erfahrenen Versuchsperson, die nach eigenen Angaben eine optimale Strategie entwickelt hat, um die benötigte Zugzahl zu minimieren.

Zug-Nr.	Zug	Anzeige d. Rechners	Kommentar
1	1234		Die Vp. benutzt konsequent die Ziffernfolgen '1234' für den ersten und '5678' für den zweiten Zug; sie fängt frühestens mit Zug-Nr.3 an zu kombinieren.
		3.0	3 Ziffern befinden sich bereits an der richtigen Stelle - ein nach Tab. 1 in Kap. 3.4.1. unwahrscheinliches Ereignis nach dem ersten Zug.
2	5678		Die Information des ersten Zuges wird nicht verwertet - in diesem Sinne eine rigide Strategie.
		0.1	Die Ziffer '9' ist in der Geheimzahl nicht enthalten.
3	1256		Die ersten beiden Ziffern von Zug-Nr.1 sind direkt und die von Zug-Nr.2 umgestellt übernommen worden; dieser Zug steht im Widerspruch zur Bedingung durch Zug-Nr.1 mit Rückmeldung.
		1.0	Die Ziffern '3' und '4' von Zug-Nr.1 befinden sich in der richtigen Position; die '5' oder die '6' sind in der Geheimzahl nicht enthalten.
4	1734		Bei geringer Unsicherheit verbleiben ausserdem noch die Ziffernfolgen '1834', '7234' und '8234' durch Zug-Nr.1 - 3.
		3.0	Die Ziffern '1' und '8' müssen enthalten sein.
5	1834	4.0	Das Problem ist gelöst.

1. Einleitung

Die fundamentalen Schwierigkeiten in der Erkenntnisgewinnung und der Entstehung eines subjektiven Eindrucks, des Empfindens und Erlebens einer äusseren Welt sind schon in der frühen Menschheitsgeschichte erkannt und von führenden Philosophen erörtert worden.

Aus der philosophischen Tradition der Psychologie heraus ist es zu verstehen, dass in der Zeit der Ablösung von der Philosophie vorrangig das Problem des Subjektivismus der Selbstbeobachtung diskutiert wurde. Forschungsgegenstand waren Prozesse des Bewusstseins, deren jeweils unmittelbar erlebte Qualität ausschliesslich der individuellen Selbstbeobachtung (Introspektion) zugänglich waren.¹

1.1. Erscheinungsweise und Wirklichkeit in der Psychologie

In gewissem Ausmass muss nach Lewin (69) zur Beschreibung und Analyse der Verinnerlichung äusserer Einwirkungen die physikalische Umwelt der betreffenden Person zu erfassen sein.² Dieser Ausschnitt der relevanten Umwelt kann von Person zu Person und von einem Zeitpunkt zum anderen variieren und ist somit nicht ohne weiteres einsichtig und angebbar.

¹Lexikon der Psychologie. Herder Verlag, Freiburg 1976, S. 777

Vgl.

Neel, Ann F.: Handbuch der psychologischen Theorien. Kindler Verlag, München 1974

und

Balmer, Heinrich (Herausg.): I Die europäische Tradition. Die Psychologie des 20. Jahrhunderts. Kindler Verlag, Zürich 1977

Lewin führt zum subjektiven Erlebnis und inneren Abbild der erlebnisjenseitigen Welt aus:

"Erlebnis und psychologische Existenz. -Wie aber festzulegen ist, was für eine bestimmte Person psychologische Existenz besitzt, ist nicht immer leicht zu entscheiden. Am naheliegendsten scheint es, das Erlebte werden als Kriterium zu benutzen. Danach wäre die physikalische und soziale Umwelt insoweit und in der Art als psychologische Umwelt anzusetzen, wie sie von dem betreffenden Individuum erlebt würde. Eine solche Formulierung ist jedoch nicht unbedenklich, auch wenn man den Erlebnisbegriff sehr weit fasst. Nicht fraglich ist zum Beispiel, dass, wenn man sich in einem wohlbekannten Zimmer befindet, auch die optisch momentan nicht sichtbare Rückwand des Zimmers zur gegenwärtigen psychologischen Umwelt gehört. Aber auch der Umstand, dass neben diesem Zimmer gerade die und die Räume liegen, dass das Haus in einem einsamen Gehöft am Meere steht oder aber in einer belebten Strasse einer Großstadt, kann ein wesentlicher Bestandteil der psychischen Situation sein. Das kann auch dann zutreffen, wenn man von der Landschaft nichts sieht, sondern in seine Arbeit versunken ist und momentan nicht oder jedenfalls nicht deutlich spürt, wie es um diese weitere Umgebung bestellt ist."

Lewin beschreibt hier das Phänomen einer psychologischen Vermengung der physikalischen oder erlebnisjenseitigen und der anschaulichen oder erlebten Welt (vgl. Metzger (63): Erster und zweiter Sinn von Wirklichkeit⁴). Je nach Bewusstseinszustand ist die psychische Umwelt als Teil des psychologischen Lebensraumes ein mehr oder minder grosser Ausschnitt der physikalischen Umgebung. Das subjektive Erlebnis und die psychologische Existenz bedingen einander und sind nicht ohne weiteres voneinander trennbar.

² Lewin, Kurt: Grundzüge der topologischen Psychologie. Huber Verlag, Bern 1969. S. 40

³ ebd., S. 40

⁴ Metzger, Wolfgang: Psychologie. Die Entwicklung ihrer Grundannahmen seit der Einführung des Experiments. Steinkopff Verlag, Darmstadt 1963, 3. Aufl.. S. 14 - 18

1.2. Das Prinzip der Wirkung

Als Kriterium zur Zugehörigkeit zum psychologischen Lebensraum verwendet Lewin (69) das Prinzip der Wirkung:

"Die 'phänomenalen' Eigenschaften sind zu unterscheiden von den 'konditional-genetischen' Eigentümlichkeiten der Gebilde und Geschehnisse, d.h. von den Eigenschaften, die diesen Gebilden im Reaktions- und Wirkungsverbande zukommen. Vom Standpunkt der Dynamik aus wird man die Gesamtsituation als Inbegriff dessen darzustellen haben, was jeweils für das betreffende Individuum wirksam ist. Für die Aufgabe der begrifflichen Ableitung des Geschehens kann man die Wirksamkeit als das Kriterium für psychologische Existenz verwenden." ¹

(Vgl. Metzger (63): Psychologie, S. 241 - 276)

Lewin führt hier den Begriff der "Wirk-lichkeit" als Wort etymologisch auf das Prinzip der "Wirkung" zurück, indem er den als statisch empfundenen und situativ vorgegebenen Ausdruck "Wirklichkeit" durch den Prozess der "Wirkung" erklärt und dynamisiert. Diese in einem dynamischen Sinne getroffene Unterscheidung zwischen "Erscheinungsweise" und "dahinterstehender Wirklichkeit" ² lässt die grundlegenden Postulate, Zielsetzungen und Schlussfolgerungen der Feldtheorie schon erahnen. (Vgl. Lewin (63): Feldtheorie in den Sozialwissenschaften; zur Kritik und komprimierten Darstellung siehe Leeper (49): Lewin's Topological and Vector Psychology. A Digest and a Critique)

¹ Lewin, Kurt: Grundzüge der topologischen Psychologie. Huber Verlag, Bern 1969. S. 41

² ebd., S. 41

1.3. Quasi-physikalische Fakten

Das dynamische Kriterium wird von Lewin zur Entscheidung über die Zugehörigkeit eines Faktums als Bestandteil des psychologischen Lebensraumes herangezogen, indem das Wirkungsprinzip auf die physikalische Welt angewandt wird:

"Vielmehr sind diese Fakten nur insoweit und in der Form in die Darstellung des psychologischen Lebensraumes aufzunehmen, wie sie sich für diese individuelle Person in ihrem momentanen Zustand als wirksam erweisen."¹

Um diesen Sachverhalt auszudrücken, spricht Lewin von quasi-physikalischen Fakten.² Z.B. kann sich eine vom Standpunkt des Physikers nahezu identische Umwelt für ein Kind oder einen Erwachsenen als grundlegend andere Situation darstellen. Sogar für ein und denselben Menschen kann eine "objektiv physikalisch" identische Umwelt bei unterschiedlicher Bedürfnislage einen verschiedenen psychologischen Aufbau besitzen, z.B. wenn er sich im Zustand des Hungrigseins oder Sattseins befindet.³

Damit ergeben sich für die Erstellung adäquater Versuchspläne in der experimentellen Psychologie schwerwiegende Konsequenzen, die im folgenden in den Kap. 1.3.1. und 1.4. erörtert werden. Das (beobachtbare) Verhalten des untersuchten Organismus selbst stellt einen Teil des psychologischen Lebensraumes des Beobachters dar, aus dem der Forscher Rückschlüsse zieht über die Wechselbeziehung zwischen psychologischer Person, deren psychologischer Umwelt und ihrem Verhalten.

¹ Lewin, Kurt: Grundzüge der topologischen Psychologie. Huber Verlag, Bern 1969. S. 45 u. 46

² ebd., S. 46

³ ebd., S. 46

1.3.1. Konsequenzen für die experimentelle Psychologie

Zur adäquaten Erhebung der relevanten Daten im Experiment und Ausarbeitung entsprechender Versuchspläne sollte jeder auf dem Gebiet der Psychologie tätige Forscher sich dieser Einschränkung des momentanen psychologischen Lebensraumes eines Organismus bewusst sein und diese sogar nutzen, indem er die physikalische Umgebung im Rahmen des geplanten Experiments bewusst einengt und so die psychische Umgebung in starkem Masse kontrolliert:

1. Konstanz und Kontrolle der psychologischen Umgebung: Die physikalische Umwelt des zu untersuchenden Organismus ist so weit einzuschränken (z.B. durch Eliminierung von Möglichkeiten der Ablenkung (Bilder) oder der Störung (Strassenlärm)), dass alle und möglichst nur die psychologisch relevanten Parameter sowohl vom betreffenden Organismus als auch vom Versuchsleiter möglichst irredundant erfasst werden können.
2. Konstanz der psychologischen Person: Die innerorganismische Widerspiegelung der äusseren Umgebung darf möglichst nicht durch nicht erfassbare und/oder nicht protokollierte Fluktuationen in der psychologischen Persönlichkeit (z.B. Aufmerksamkeitsschwankungen (etwa durch Türeenschlagen) oder Aspektverschiebungen infolge von Wechselwirkungsprozessen) gestört werden.

Allerdings bleibt bei diesen Überlegungen zu beachten, dass der dem Organismus im Experiment zur Verfügung stehende Manipulationsraum dem Verhaltensrepertoire angemessen und so geartet ist, dass er dem Versuchsleiter oder Beobachter optimalen Einblick in die Erlebniswelt gestattet. Das Verhalten des Organismus muss weitgehendst vom Experimentator beobachtet und erfasst werden können, um maximale Information über den Organismus zu gewinnen.

1.3.2. Medizinische Psychologie und physiologische Psychologie

Die medizinische Psychologie vertritt die Auffassung, dass physiologische Prozesse unter dem Gesichtspunkt physikalisch - chemischer Gesetzmässigkeiten betrachtet werden können. Verhalten betrifft die von aussen sichtbare Gesamtaktivität des Organismus und unterscheidet sich von physiologischen Vorgängen nur durch den Grad der Abstraktion:¹

"Die Trennung von Verhalten und physiologischen Prozessen ist daher im Prinzip vollkommen willkürlich. Wir sind es nur gewohnt, bestimmte Aktivitäten einmal in der Sprache der Physiologie und zum anderen in der Sprache der Psychologie zu beschreiben."²

Aus einer fortschreitenden Differenzierung von einer makroskopischen Betrachtungsweise (Verhalten) zu der mikroskopischen (z.B. Anregung einzelner Zellen im Nervenverband) resultiert die grundsätzlich naturwissenschaftliche Erfassbarkeit psychologischer Phänomene. Damit erübrigt sich die Diskussion über das Leib-Seele-Problem als Frage nach den Zusammenhängen zwischen körperlichen Vorgängen und dem subjektiven, psychischen Erlebnis:

"Somatische und psychische Prozesse sind nichts Unterschiedliches. Psychische Prozesse sind Gesamtaktivitäten des Organismus, die nach einem Prinzip, das wir bis heute noch nicht voll begreifen können, aus der Integration der organismischen Teilsysteme (insbesondere des Gehirns) resultieren."³

¹Janke, W.: Psychophysiologische Grundlagen des Verhaltens, in: Kerekjarto, Margit v.: Medizinische Psychologie. Springer Verlag, Berlin 1976. S. 2

²ebd., S. 2 u. 3

³ebd., S. 3

Die Gesamtheit aller physiologischen Prozesse mit ihren Verknüpfungen und Wechselwirkungen ergibt dieser Auffassung nach die Ganzheit eines subjektiven Erlebnissvorganges, wobei die Frage weder gestellt noch erörtert wird, ob die Summe der Teile nicht etwa eine grundsätzlich andere Qualität besitze als die einzelnen Teile und durch keine wie auch immer geartete Integration hergeleitet werden könne. Die physiologische Psychologie als Teildisziplin der experimentellen Psychologie sieht die physiologischen Prozesse sogar als primäre Vorbedingung für den Erlebnissvorgang an:

"Unser gesamtes psychisches Erleben (Denken, Fühlen, Wollen, Lernen, Wahrnehmen usw.) ist von biochemischen und physikalischen Vorgängen in den Nervenzellen abhängig. Verändert oder stört man diese nervenphysiologischen Prozesse, so verändert man gleichzeitig die psychologischen Phänomene."

Die Hypothese, dass das bewusste Erleben nicht auf die Erregungsprozesse wirke oder neue Erregung erzeugen könne (weil es selbst von Erregungszuständen abhängig sei und ohne diese überhaupt nicht existiere) ist nach Birbaumer (75) durch den Nachweis der vollständigen Abhängigkeit des bewussten Erlebens von den physischen Vorgängen im Gehirn anhand einer Fülle von Beobachtungen, Experimenten und wissenschaftlich interpretierbaren Ereignissen erhärtet worden.²

Betrachten wir jedoch die jegliches Erleben begleitenden physiologischen Prozesse als Korrelate des subjektiven Empfindens und der psychologischen Existenz, so bedingen physiologische und psychische Prozesse einander und sind untrennbar miteinander gekoppelt, wiewohl von anderer Qualität in einer anderen Dimensionalität.

¹ Birbaumer, Niels: Physiologische Psychologie. Springer Verlag, Berlin 1975. S. 5

² ebd., S. 5

Zusammenfassend gesagt setzt die medizinische Psychologie subjektives Erleben und begleitende physiologische Prozesse weitgehend gleich und unterscheidet sie nur aufgrund der Höhe ihres Abstraktionsniveaus. Für Birbaumer (75) und Rohrer (67) als Vertreter der Neuropsychologie bedingt nicht das intraindividuelle psychische Empfinden die im Gehirn ablaufenden physischen Vorgänge, sondern im Gegenteil stellen die physiologischen Prozesse die kausale Ursache des subjektiven Erlebens dar.

Gegenstand und Ziel dieser Forschungsrichtung ist es somit, den intraindividuellen Lebensraum von Organismen grundsätzlich über naturwissenschaftlich erfassbare Phänomene zu erschliessen, sobald die Kenntnisse über die Bedingungen der erlebnisseitig ablaufenden psychischen Prozesse nur ausreichend gross genug sind (erweiterter Positivismus), um durch integrative Verrechnungsverfahren das subjektive Erlebnis ausreichend genau zu bestimmen.

1.4. Verhaltensgleichung und psychologische Fremdbeobachtung

In diesem Kapitel sollen die Schwierigkeiten bei der psychologischen Fremdbetrachtung (zur Abgrenzung gegen die Introspektion) anhand der Verhaltensgleichung von Lewin (69) formal erfasst und kurz diskutiert werden. (Einen ausgezeichneten Überblick über Lewins Feldtheorie nebst Kritik an derselben vermittelt Robert W. Leeper (49): Lewin's Topological and Vector Psychology. A Digest and a Critique)

Ohne hier auf die Unzulänglichkeiten der topologischen Psychologie Lewins einzugehen, die infolge der Nicht-einbeziehung von Wechselwirkungsbeziehungen zwischen dem Verhalten (V) und/oder der psychologischen Person (P) entstehen - die Verhaltensgleichung müsste konsequenterweise $f(V,P,U)$ lauten, um entsprechende mathematische differentielle Ableitungen überhaupt erst zu ermöglichen -, sei an dieser Stelle zunächst die Verhaltensgleichung Lewins vorgestellt:

"Ist V das Verhalten oder sonst irgendeine Art psychischen Geschehens und S die Gesamtsituation einschliesslich der Person, so ist V als eine Funktion von S darzustellen: $V = f(S)$."

Die Gesamtsituation (S) wird im weiteren von Lewin in zwei Teilkomponenten zerlegt:

"In der Psychologie kann man innerhalb der Gesamtsituation zunächst einmal grob die Person (P) und ihre Umwelt (U) unterscheiden. Das Ausmass, in dem ein bestimmtes Verhalten von den Eigenschaften der Person oder der Umwelt abhängt, ist jeweils recht verschieden. Prinzipiell aber hängt jedes psychologische Geschehen sowohl vom Zustand der Person wie dem der Umwelt ab. Unsere Formel $V = f(S)$ können wir daher für jedes psychische Geschehen als $V = f(PU)$ festsetzen."²

Den Terminus "psychologischer Lebensraum" benutzt Lewin, um den Gesamtbereich dessen zu erfassen, was das Verhalten eines Individuums in einem gegebenen Zeitmoment bestimmt.³

¹Lewin, Kurt: Grundzüge der topologischen Psychologie. Huber Verlag, Bern 1969. S. 31

²ebd., S. 34

³ebd., S. 34

$$(2) \quad U_0 \supset U' \subset U_B$$

mit

$$U' = U_0 \cap U_B.$$

In einer optimalen Versuchsanordnung, in der praktisch alle für den Organismus relevanten Parameter seiner psychologischen Umwelt auch vom Beobachter erfasst werden, ist diese Schnittmenge möglichst gross; es gilt in Näherung: $U_0 \subset U_B$.

Zur Illustration dieser Verhältnisse bei Fremdbeobachtung dient Abb. 1. U_B und U_0 liegen im quasi-physikalischen Raum. Das organismische Verhalten V_0 wird zum Teil durch die psychologische Umwelt U_0 bedingt (f'_0). Der Umstand, dass der sich in V_0 widerspiegelnde Erlebnisprozess vielleicht nicht ausschliesslich quasi-physikalische Qualität besitzt und entsprechend phänomenologisch erfassbar ist (zur Diskussion vgl. Kap. 1.3.2.), wird in Abb. 1 dadurch gekennzeichnet, dass die grössere der beiden Hauptachsen der ellipsenartig dargestellten Menge V_0 senkrecht auf denjenigen steht, die von U_0 bzw. U_B gebildet werden.

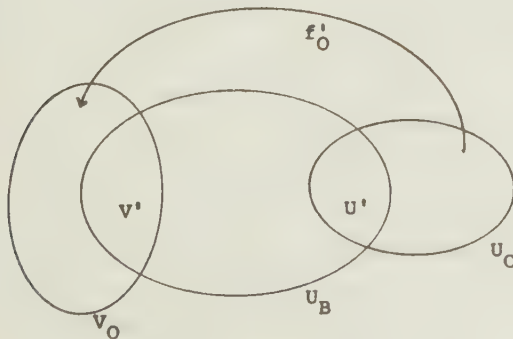


Abb. 1: Fremdbeobachtung

Abb. 1 entnimmt man sofort, dass mit wachsender Schnittmenge U' und/oder V' der Informationsgehalt der Beobachtung unter der Voraussetzung zunimmt, dass die Mächtigkeit der Mengen nicht überproportional abnimmt. Die mit (1) und (2) verknüpften Forderungen können bei psychologischen Experimenten zu starken Einschränkungen des natürlichen Verhaltensrepertoires durch ein zu geringes Angebot an möglichen Reaktionsalternativen führen (vgl. Kap. 1.3.1.). So ist die Taube in der Skinnerbox z.B. nicht mehr in der Lage, ihren Käfig zu verlassen und wegzufliegen.

1.4.1.

Methodischer Ausblick

Im psychologischen Experiment können Hypothesen über organismisches Verhalten entweder verworfen oder angenommen werden und so die entsprechenden Modellvorstellungen korrigiert oder weiter ausgebaut werden, um psychische Prozesse adäquat beschreiben und verstehen zu können und um - wenn auch probabilistische - Gesetzmässigkeiten in psychologischen Erlebnis- und Verarbeitungsvorgängen aufzudecken.

Sowohl der psychologische Lebensraum (über U') als auch die Reaktionsmöglichkeiten (über V') des untersuchten Organismus werden vom Forscher mehr oder minder kontrolliert und auch manipuliert. Damit sind die solcherart gewonnenen psychologischen Gesetzmässigkeiten im allgemeinen äusserst begrenzt und nur im beschränkten Rahmen gültig; sie können nicht ohne weiteres verallgemeinert werden.

Durch zeitliche Ableitungen der Verhaltensgleichung können Aussagen über psychologische Persönlichkeitsparameter gewonnen werden, z.B. über den momentanen Bedürfniszu-stand des untersuchten Organismus. (In elementarer Weise wird z.B. die Länge der Dauer der Deprivation von Nahrung als Mass zur Definition und Bestimmung der intrasubjektiven Empfindung von Hunger benutzt; Hunger ist somit ein Konstrukt des gewählten Operationalisierungsverfahrens.)

Die Differentiation der Verhaltensgleichung nach der Zeit ermöglicht es dem Forscher, auf der Grundlage gewisser Annahmen und Hypothesen über den Aufbau der psychologischen Persönlichkeit durch anschliessende Integration und Interpolation der ermittelten quasi-physikalischen Fakten die Adäquatheit der postulierten Modelle zu überprüfen und ihren Geltungsbereich zu ermitteln.

(Die psychologische Persönlichkeit des Beobachters (P_B) geht natürlich auch in die Verhaltensgleichung bei der Fremdbeobachtung mit ein; ihr Einfluss auf die Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation eines Experimentes soll hier jedoch nicht erörtert werden.)

Dem Forscher sind somit gewisse Aspekte der 3 Komponenten der Verhaltensgleichung $V_O = f_O(P_O, U_O)$ bekannt (U' , V') oder zumindest erschliessbar ($P' \subset P_O$), und er kann jetzt aufgrund der ermittelten quasi-physikalischen Fakten Aussagen über psychisches Erleben machen bzw. Gesetzmässigkeiten intraindividuellder psychologischer Prozesse nachweisen.

2. Theoretische Grundlagen

In naturwissenschaftlichen Experimenten werden entsprechend der Fragestellung ausschliesslich Daten aus der quasi-physikalisch erfassbaren Umwelt erhoben, Beziehungen zwischen den ermittelten Fakten aufgezeigt und/oder geeignete Modelle entwickelt bzw. verworfen, die diese Interaktionen beschreiben. Psychologische Untersuchungen dagegen dienen der Informationsgewinnung und dem besseren Verständnis über den psychologischen Lebensraum von Organismen und deren Verhalten. Zu diesem Zweck müssen sowohl der relevante Teil der psychologischen Umwelt als auch Aspekte des subjektiven Erlebens (durch beobachtbares Verhalten) von Lebewesen erfasst werden, um so Wechselwirkungen und Beziehungen zwischen äusserer, quasi-physikalischer Umwelt und ihrem inneren, subjektiven Abbild aufzuzeigen. (Vgl. Kap. 1.1.: Erscheinungsweise und Wirklichkeit in der Psychologie. Siehe Kap. 1.3.: Quasi-physikalische Fakten.)

Im folgenden wird statt von der quasi-physikalischen Umwelt in sensu Lewins(69) der Kürze halber von der physikalischen Aussenwelt gesprochen; alle die Umwelt betreffenden Termini sind entsprechend zu verstehen.

Das übliche Vorgehen bei psychologischen Fragestellungen besteht darin, einen Organismus mit einer (mehr oder minder kontrollierten) Situation (S) zu konfrontieren und die als relevant angesehenen Daten seiner Reaktion (R) möglichst exakt zu protokollieren. Ohne hier auf die Schwierigkeiten zur Erstellung von Versuchsplänen, der Durchführung der Experimente, der Auswertung der erhobenen Daten und deren Interpretation einzugehen, bedeutet dies jedoch, dass im allgemeinen auch bei optimalem Versuchsdesign ausschliesslich statische Zustände aufgenommen werden; die dynamisch im Organismus ablaufenden Prozesse zwischen Ausgangssituation und Endzustand werden nicht erfasst, der kognitive Prozess allenfalls indirekt erschlossen.

2.1.

Aspekte des Denkens:Behaviorismus und Gestalttheorie

Dieses Vorgehen wird von Ueckert (75) systemtheoretisch² folgendermassen spezifiziert:

"Eine auch in der Psychologie gängige Vorstellung von einem System ist das Black-Box-Modell, an dem die beobachtbaren Eingabe-Ausgabe-Relationen ('Reiz-Reaktions-Beziehungen' der behavioristischen Psychologie) untersucht werden können." [... Vgl. Abb. 2 in dieser Arbeit.] "Die Black-Box-Vorstellung ist für eine konstruktive Systemspezifikation von grundlegender Bedeutung, da sich jedes System über eine Analyse seiner (beobachtbaren) Eingabe-Ausgabe-Relationen bestimmen lässt, ohne in das Innere des Systems 'hineinsehen' zu müssen."

(Zur Diskussion und Kritik vgl. Kap. 1.1.: Erscheinungsweise und Wirklichkeit in der Psychologie. Siehe auch Kap. 1.4.: Verhaltensgleichung und psychologische Fremdbeobachtung.)

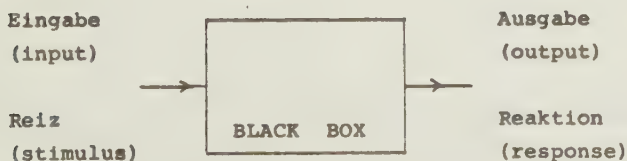


Abb. 2: Black-Box-Modell eines Systems

¹ Ueckert, H.: Systemtheoretische Ansätze zur Theorie des Problemlösens, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 183 (1975), Heft 1, S. 83 u. 84

² Anm.: Zu dem hier verwendeten Begriff "Systemtheorie" vgl. auch Duden (74): Fremdwörterbuch, S. 710. Die Begriffe "System" und "Systemtheorie" sind z.B. von Klaus (68): Wörterbuch der Kybernetik, S. 634 - S. 638 ausführlich erläutert worden. Nach Klix (73): Information und Verhalten, S. 441, besteht ein charakteristisches Arbeitsverfahren der Systemtheorie darin, daß die innere Systemstruktur aus dem Übertragungs- bzw. Übergangsverhalten erschlossen wird.

Der behavioristische Ansatz lehnt als extreme Form der "objektiven" (vgl. Kap. 1.3.) Psychologie die Methode der Introspektion ab. Nur der Reiz und die Reaktion sind von Bedeutung, innerorganismische Vorgänge werden durch das Gleichsetzen von Denken mit Sprache in Quasi-Handlungen ('verbales Verhalten') umgesetzt. (Ein Extremfall dieser epistemologischen Position wird in Kap. 1.3.2. vorgestellt: Medizinische und physiologische Psychologie; subjektives Erleben wird durch physiologische Prozesse erklärt.)

Die grosse Komplexität menschlichen Denkens verlangt aus behavioristischer Sicht die Ausbildung von zusammengesetzten zeitlichen Gewohnheitshierarchien, die aus einer Kombination von Verkettungen und Vernetzungen von Reiz-Reaktions-Gliedern (vgl. Abb. 2) bestehen. (Zur Darstellung von divergierenden und konvergierenden Mechanismen und deren Kombination siehe Maltzman (69): Denken in behavioristischer Sicht, in: Graumann: Denken.)

"Von dieser Hierarchie wird angenommen, dass sie zumindest teilweise nach den Gesetzen des Lernens durch Konditionierung und nach Versuch-und-Irrtum funktioniert".

Durch die retrospektive Darstellung solcher Kombinationen von Reiz-Reaktions-Beziehungen ist es grundsätzlich möglich, verschiedene Arten von Problemlösungsmechanismen zu beschreiben. (So z.B. produktives und reproduktives Denken.) Neben der trial-and-error-Struktur ('blindes' Probieren) als kognitiven Mechanismus beim Denken kennt man zumindest noch den (gestalttheoretisch ableitbaren) Begriff der "Einsicht" oder "plötzlichen Reorganisation", die ein vorausgegangenes Probier- und Explorationsstadium plötzlich unterbricht und vorhandene Konfusion beseitigt:

¹ Maltzman, Irving: Denken in behavioristischer Sicht, in: Graumann, Carl Friedrich: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969. S. 98

"Wir müssen hervorheben, dass diese Geschehensformen in demselben Problemlösungsprozess durchaus zusammen bzw. nebeneinander auftreten können, eventuell mit verschiedener Akzentuierung. Versuch-und-Irrtum-Verhalten und einsichtsvolles Operieren sind im natürlichen Problemlösungsverlauf nicht einander ausschliessende, sondern komplementäre Geschehensformen."

Auch für Metzger (63) spielt neben der kognitiven Umgliederung durch den Wechsel des Bezugssystems

"die Ausbildung und die Änderung von Gewichts-, Abhängigkeits- und Ableitungsverhältnissen eine entscheidende Rolle."

Durch die Gegebenheiten der Problemsituation ergeben sich aus gestalttheoretischer Sicht störende und beunruhigende Spannungen, die der Situation den Charakter des Unge-schlossenen und Störenden vermitteln. Infolge der kognitiven Umzentrierung des Individuums durch das Bedürfnis zur Herstellung einer ausgeglichenen Struktur, einer Tendenz zur guten Gestalt, ändert sich das Eigenschaftsrelief von Gegenständen:

"Unter dem Druck der Problemsituation, angesichts des Ganzen der Problemstellung werden an bestimmten Gegenständen Eigenschaften, Bedeutungen, Funktionen entdeckt, die bis dahin dem Individuum entweder ganz verborgen geblieben waren oder nur gelegentlich bemerkt und als peripher erlebt wurden, weil sie im üblichen Umgang mit dem Gegenstand nicht benötigt werden, in dem Zusammenhang, in dem der Gegenstand zumeist auftritt, keine Rolle spielen."

¹ Süllwold, Fritz: Bedingungen und Gesetzmässigkeiten des Problemlösungsverhaltens, in: Graumann, Carl Friedrich: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969. S. 278

² Metzger, Wolfgang: Psychologie. Steinkopff Verlag, Darmstadt 1963. S. 194

³ Süllwold, Fritz: Bedingungen und Gesetzmässigkeiten des Problemlösungsverhaltens, in: Graumann, Carl Friedrich: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969. S. 279

Zusammenfassend gesagt versucht die Gestalttheorie, das 'Wie' innerorganismischer kognitiver Prozesse durch Begriffsentwicklungen wie "kognitive Umgliederung" und "Umzentrierung zu beschreiben und zu erfassen, während der behavioristische Ansatz das 'Wie' als Konditionierung aus dem 'Was' retrospektiv zu erklären sucht und den Denkprozess als einen Handlungsprozess aufgrund der sprachlichen Umsetzung versteht: Neues Verhalten entsteht primär aus Versuch-und-Irrtum-Verhalten; durch den Aufbau von Gewohnheitshierarchien kann der Denkprozess durch eine zeitliche (und 'funktionale') Aufeinanderfolge stationärer Zustände von Reiz-Reaktions-Kombinationen beschrieben werden.

2.2. Prozesscharakter_des_Denkens

Das sich aus dem Tatbestand der nur indirekten Erschließbarkeit kognitiver Prozesse ergebende Dilemma wird von Groner (78) folgendermassen beschrieben:

"Die eindeutige Darstellung komplexer Prozesse in hinreichender Form zwingt zur Explikation von Detailannahmen, die in vielen Fällen beim Fehlen abgesicherter Befunde ad hoc ausfallen müssen. Eine systematische Variation und Ueberprüfung verschiedener Modellvarianten über die numerische Parametersuche hinaus erscheint deshalb angezeigt, will man nicht wie ein blindes Huhn auf die Suche nach dem goldenen Korn gehen."

Groner geht von der Annahme aus, dass sich menschliches Denken als "verinnerlichtes Probehandeln" darstellen lässt. (Vgl. den behavioristischen Ansatz in Kap. 2.1.) Durch eine systematische Variation im Studium kognitiver Prozesse kön-

¹ Groner, Rudolf: Die Analyse von Denkstrategien auf der Grundlage kognitiver Elementaroperationen, in Ueckert, Hans und Rhenius, Detlef: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1978. S. 135

nen seiner Ansicht nach Denkstrategien auf der Grundlage kognitiver Elementaroperationen analysiert werden.

Geuss (78) verwendet die Begriffe 'Informationsverarbeitung' und 'Lernen' weitgehend synonym. Er ist der Ansicht, dass Informationsverarbeitung als Prozess "durch und in seinem Vollzug" zu beschreiben sei. Er vertritt die Auffassung,

"dass unter Lernen nicht das Durchschleusen irgendwelcher Inhalte durch ein in bestimmter Art und Weise strukturiertes System verstanden werden kann, sondern dass Lernen als komplexer Prozess innerhalb eines Bedingungsgefüges mit multiplen Interdependenzen (REESE 1976) anzusehen ist. Eine Bedingungsanalyse vermag lediglich den Rahmen abzustecken, innerhalb dessen Lernen stattfindet; über dessen individuellen Verlauf sagt diese jedoch wenig aus."

Die (retrospektive) Erstellung zeitlicher Gewohnheitshierarchien reicht demnach nicht aus, um die Komplexität menschlichen Denkens mit seinen multiplen Interdependenzen vollständig zu beschreiben, weil durch eine Reduktion auf kognitive Elementarprozesse die Wechselwirkungsbeziehungen zwischen ihnen (wenn überhaupt) nur unvollständig wiedergegeben werden können.

Um Aussagen über kognitive Verarbeitungsmechanismen zu gewinnen, ist die Entwicklung von Prozessmodellen nötig, die den Prozesscharakter der Denkvorgänge erfassen können. So schreibt Groner (78):

"Durch die Verwendung von relativ groben Verhaltensmassen wie relative Häufigkeit und Latenzzeiten von Lösungen, die zudem nur den Endpunkt des ganzen Denkverlaufs erfassen, entfällt wichtige empirische Information über den Prozess als solchen. Daraus ergibt sich als Folgeerscheinung, dass die grundlegenden theoretischen Grös-

¹ Geuss, Herbert: Modelle der Informationsverarbeitung und ihre Bedeutung für das Verständnis kognitiver Entwicklungsprozesse, in Ueckert, Hans und Rhenius, Detlef: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1978. S. 89

sen nicht anders denn als freie Parameter erfasst werden können und a posteriori geschätzt werden müssen. Erstrebenswert wären molekulare Verhaltensmessungen während des Denkprozesses."

Groner kritisiert hier die Praxis der retrospektiven Erstellung von Verhaltensketten (Reiz-Reaktions-Kombinationen), um kognitive Prozesse nachträglich zu erklären und fordert eine Aufspaltung des Denkprozesses in seine Elementarteile. (Zur Kritik siehe die Vertreter der Gestalttheorie, z.B. Metzger (63); vgl. auch Kap. 2.1.) Sydow (78) ist sich der reduktionistischen Tendenz solcher Forderungen wohl bewusst. Für ihn ist folgende Fragestellung bei Untersuchungen im Bereich der Denkpsychologie von grosser Relevanz:

"Wie lassen sich, in Abgrenzung zu reduktionistischen Vorstellungen, elementare psychische Operationen, kognitive Operationen, identifizieren und wie lassen sich komplexe Denkopoperationen in diese elementaren Operationen zerlegen?"²

Aus der Kenntnis des gestalttheoretischen Phänomens heraus, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile, stellt Sydow (die mir paradox erscheinende) Forderung, komplexe Denkopoperationen mit ihren multiplen Interdependenzen so in elementare psychische Operationen zu zerlegen, dass ihre Summe genau den gesamten kognitiven Prozess widerspiegelt. Gerade beim Problemlösungs-Verhalten ist die Gesamtsituation als Ganzes zu berücksichtigen:

¹ Groner, Rudolf: Die Analyse von Denkstrategien auf der Grundlage kognitiver Elementaroperationen, in Ueckert, Hans und Rhenius, Detlef: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1978. S. 135

² Sydow, H.: Experimentalpsychologische Untersuchungen von Denkprozessen, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 186 (1978), Heft 4, S. 456

"Generell dürfte unerlässlich sein, dass das Individuum sich bemüht, die Gesamtsituation, das Gegebene sowohl als auch das Geforderte, in aller Klarheit präsent zu haben, daß es bewusst versucht zu verstehen, strukturelle Forderungen, innere Beziehungen zu erfassen, die Grundschwierigkeit zu finden und zu analysieren."

Diese Betrachtungsweise einer Problemsituation in ihrer Gesamtheit ist weitgehend inkompatibel mit den eben gestellten Forderungen nach der (mehr oder minder) reduktionistischen Zergliederung und Zerlegung des Denkvorgangs in seine Elementarprozesse. Nur wenn sich für den Problemlöser jedes Teilproblem gänzlich als neues Problem stellt (etwa die einzelnen Aufgaben in einer entsprechenden Rechenarbeit), also keine temporale Abhängigkeit zwischen den einzelnen Teilproblemen besteht (bei manchen Fragebögen ergeben sich z.B. sogenannte 'Aspektverschiebungen' aufgrund der Beantwortungen zeitlich vorangegangener Items), ist es möglich, komplexe Denkvorgänge in elementare Operationen zu zerlegen, da keine Interdependenzen zwischen ihnen bestehen.

Der zeitlich ablaufende Prozesscharakter von Problemlösungsvorgängen wird in der kognitiven Forschung allgemein betont. Während die Gestalttheorie den Denkvorgang unter ganzheitlichem Aspekt sieht, wird er aus behavioristischer Sicht in Elementarprozesse zerlegt, die zeitlich aufeinanderfolgen. Können jetzt bei informationstheoretischer Betrachtungsweise die Einflüsse geeigneter zeitlich vorausgehender Elementarprozesse (als bedingende Größen) auf die zeitlich nachfolgenden (als bedingte Größen) ausreichend genau erfasst werden, stellt jedes Gesamtsystem aus entsprechenden Elementaroperationen und ihrem speziellen Bedingungsgefüge eine mögliche Beschreibung des Denkprozesses dar: Jedes dieser Systeme ist nämlich in der Lage, den Denkvorgang (per definitionem) adäquat zu erfassen.

¹Süllwold, Fritz: Bedingungen und Gesetzmässigkeiten des Problemlösungsverhaltens, in: Graumann, Carl Friedrich: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969. S. 279

2.3. Kognitive Forschung und Problemlösen

Um sich der äusseren physikalischen Umwelt anzupassen und mit ihr in Wechselbeziehung zu treten, muss der Mensch ein inneres Abbild sowohl der äusseren Welt, seines Standpunktes in dieser Welt wie auch mannigfaltiger komplexer Interdependenzen entwickeln. Den sich ändernden äusseren Gegebenheiten entsprechend muss er über ein gewisses Repertoire an Elementarhandlungen zur Umstrukturierung seines inneren Abbildes verfügen, wenn äussere Umstände dies erfordern, was Lehmann (74) als Lernen bezeichnet:

"Unter Lernen verstehen wir ganz allgemein Prozesse der aktiven, erfolgsgelenkten Umstrukturierung des inneren Modells eines informationsverarbeitenden Systems auf Grund von Erfahrungen."

Dieser systemtheoretischen Auffassung nach wird der kognitive Prozess, den wir üblicherweise mit 'Lernen' bezeichnen, unter dem Begriff 'Informationsverarbeitung' subsummiert, wie auch Geuss (78) die Termini 'Lernen' und 'Informationsverarbeitung' weitgehend synonym verwendet. Laut Lehmann kann die Bearbeitung eines Problems durch einen (automatischen) Problemverarbeitungsmechanismus (z.B. einen Computer) als ein Modell für die aktive Auseinandersetzung eines Individuums mit seiner Umwelt angesehen werden. (Vgl. auch Kap. 1.2.: Das Prinzip der Wirkung.)

"Vielfach liegt es nahe, Lernprozesse selbst als optimumsuchende Problemlösungsprozesse (PLP) aufzufassen, bei denen ein inneres Modell solange schrittweise verändert wird, bis ein bezüglich der Umwelt und bestimmter Effektivitätskriterien optimales Modell vorliegt."²

¹ Lehmann, E.: Zur Einbeziehung von Lernprozessen in Problemlösungsmodelle, in Zeitschrift für Psychologie, Band 182 (1974), Heft 2, S. 170

² ebd., S. 172

Zur Lösung eines Problems in einem vorgegebenen Problemraum ist die Entstehung eines inneren Abbildes dieses Raumes im Organismus notwendig, das sich den jeweiligen äusseren Gegebenheiten entsprechend anzupassen hat, was mit der Fähigkeit zum Lernen bezeichnet werden kann. Hagendorf (78) weist ausdrücklich darauf hin, dass jedoch bei verschiedenen Versuchspersonen unterschiedliche Strukturen des inneren Abbildes auftreten können, die die gleichen Funktionen erfüllen und von einem Beobachter nicht ohne weiteres zu unterscheiden sind.¹

Betrachten wir das innere Abbild als (mehr oder minder geglückte) Simulation der von aussen einwirkenden Umwelt, werden je nach Wahl der elementaren Einheiten dieses Systems unterschiedliche Interdependenzen bestehen. Strukturell verschiedene Systeme können in einem gewissen Rahmen grundsätzlich die gleiche Funktion erfüllen, wenn jeweils geeignete Elementareinheiten und entsprechende Interdependenzen gefunden werden können. (Vgl. die Diskussion der Vertreter unterschiedlicher psychologischer Schulen, z.B. Behaviorismus und Gestaltpsychologie in Kap. 2.1. und 2.2.) Zur Veranschaulichung dieser Auffassung diene folgendes Beispiel: Für das Korn oder die Qualität des Mehls ist es prinzipiell unwichtig, ob es in einer mit Wasserkraft, Wind oder elektrisch betriebenen Mühle gemahlen wird.

Das Kriterium für den Grad organismischer Anpassung, für die Qualität des inneren Abbildes und der internen Simulation äusserer Gegebenheiten, ist nach Seidel (77) die Adäquatheit subjektiven Verhaltens gegenüber den externen Problemanforderungen. Die differenzierte Beschreibung der kognitiven Struktur ist Aufgabe der heutigen Problemlösungsforschung.²

¹Hagendorf, H.: On the acquisition of structures in problem solving processes, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 186 (1978), Heft 1, S. 64

Vom Standpunkt der Informationstheorie aus betrachtet, stellt der Mensch ein informationsverarbeitendes System dar (vgl. Klix (73)). Wird der behavioristische Ansatz (vgl. 2.1.) entsprechend erweitert (siehe Kap. 3.1.) und entsprechende temporäre Interdependenzen bei geeigneten Elementarhandlungen adäquat erfasst (vgl. die Schlussbemerkung zu Kap. 2.2.), sind alle höheren kognitiven Prozesse wie Denken und Lernen (informationstheoretisch) beschreibbar und erfassbar und prinzipiell (systemtheoretisch) nicht unterscheidbar.

"A first proposition, in which is somewhat incidental to the theory but not unimportant, is that creative thinking and problem solving are essentially one and the same phenomenon. If this linkage takes some of the glamour out of the concept of creative thinking, it also gives a much needed emphasis to the concept of problem solving. In solving a problem, an individual is forced to do something new in the way of behavior; new for him, that is. Unless a situation requires something new of him, he has no problem. To the extent that problem solving includes something new or novel it involves creative thinking. A theory that accounts for the one should also account for the other."³

(Guilford(68) räumt natürlich ein, dass es Ausnahmen zu diesem generellen Konzept gibt, z.B. Phantasien, die wenig gemeinsam mit Problemlösungsprozessen haben.)

Im Gegensatz zu 'Denken' und 'Lernen' sind die Begriffe 'Informationsverarbeitung' und 'Problem' bzw. 'Problemlösungsprozess' relativ eindeutig definiert, weil sie er-

² Seidel, R.: Objektive Beschreibung von Problemen und Beurteilung von Problemlösungsprozessen an Hand exakter Bewertung der Problemzustände - dargestellt am Schachspiel, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 185 (1977), Heft 3/4, S. 434

³ Guilford, J.P.: Intelligence, Creativity, and their Educational Implications. Published by Robert R. Knapp, San Diego 1968. S. 122

kennntnistheoretisch im Rahmen des Kritischen Rationalismus "objektiven" Operationalisierungsbemühungen zugänglich und damit einfach experimentell handhabbar sind. (Zum Kritischen Rationalismus vgl. Popper (74): Objektive Erkenntnis; Prim u. Tilmann (77): Grundlagen einer kritisch-rationalen Sozialwissenschaft. Zur Kritik der objektivistischen Auffassung vgl. z.B. Lewin (63): Grundzüge der topologischen Psychologie; Metzger (63): Psychologie. Siehe auch die Einleitung Kap. 1. in dieser Arbeit.)

Um weiterführend menschliches Problemlösungsverhalten mit Hilfe von informationstheoretisch vorgehenden Systemen (z.B. EDV mit ausreichender Kapazität) beschreiben zu können (i.e. Simulation), müssen zunächst Aussagen über den internen kognitiven Informationsverarbeitungsmechanismus gewonnen werden; die Struktur des inneren Abbildes wird also indirekt erfasst. Zu diesem Zweck werden an die Versuchspersonen vorzugsweise eindeutig definierte Probleme und Problemzustände herangezogen und die Problemlösungsprozesse durch sukzessive Messung entsprechender relevanter Parameter möglichst differenziert zeitlich verfolgt.

Ein solches Vorgehen schränkt den Versuchsrahmen natürlich stark ein (vgl. Kap. 1.4.1.: Methodischer Ausblick). Zumindest für den Experimentator ist das Problem als solches definiert (hier soll die Methode der Introspektion ausgeschlossen werden). Die restriktive Bedingung der Möglichkeit zur sukzessiven Verfolgung des Problemlösungsprozesses führt zur Vorgabe solcher Problemsituationen, die (bis auf die Methode des "lauten Denkens") den Problemlösungsvorgang in aufeinander folgende, überschaubare Teilprozesse gliedern. (Das Schachspiel oder der 'Turm von Hanoi' sind sofort einleuchtende Beispiele zu diesem Tatbestand, während eine reale natürliche Problemsituation weitaus schwieriger zu erfassen und deren (kognitive) Bewältigung praktisch nicht (bis auf "lautes Denken" Claparède (69)) für einen Beobachter einsichtig ist.)

2.4. Definition einer Problemsituation

Die Grundstruktur jeder Problemsituation lässt sich in Übereinstimmung mit Dörner (74), Dörner (76) und Klix (67) nach Kirchner (71) auf folgende drei Komponenten reduzieren:

1. Einen gegebenen Ausgangszustand,
2. einen geforderten Zielzustand,
3. eine bestimmte Transformationsregel.¹

Im Rahmen der Theorie der Informationsverarbeitung (als Theorie von Systemen; vgl. z.B. Simulationsprozesse) muss zur Formalisierung des Problemlösungsvorganges die Problemsituation als solche systemtheoretisch erfasst und entsprechend mathematisch definiert werden. Allerdings existiert in diesem Kontext nach Ueckert (75) eine einheitliche Klassifikation dessen, was beim Problemlösen ein Problem ist, erst in Ansätzen.²

Ueckert definiert eine Problemstellung als eine Relationsstruktur der Form

$$(S, X', Y', F) \quad ,$$

wenn damit folgende Mengen ausgezeichnet werden können:

1. Eine Grundmenge S von Problemsituationen ('Problem-bereich'), aus der konkrete Aufgabenstellungen für das aktuelle Problemlösen entnommen werden können

¹ Kirchner, Hadwiga: Hypothesenbildung und heuristische Techniken in Problemlösungsprozessen, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 179 (1971), Heft 1, S. 1

² Ueckert, H.: Systemtheoretische Ansätze zur Theorie des Problemlösens, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 183 (1975), Heft 1, S. 88

(auch - nach systemtheoretischer Terminologie etwas ungenau - als Menge von 'Problemzuständen' bezeichnet).

2. Eine Eingabemenge $X \subset S$ möglicher Anfangssituationen derart, dass $X' \subset X$ die Menge der tatsächlichen Anfangssituationen einer Problemstellung bildet.
3. Eine Ausgabemenge $Y \subset S$ möglicher Endsituationen derart, dass $Y' \subset Y$ die Menge der angestrebten Endsituationen ergibt, die für eine gegebene Problemstellung erreicht werden soll (die also die Ausgaben einer zulässigen, richtigen, optimalen Problemlösung darstellt).
4. Eine Operatorenmenge F derart, dass für alle $f \in F$ gilt:

$$f: S_f \longrightarrow S \quad ,$$

d.h. f ist die Systemoperation (Situationstransformation), die die Situationsmenge $S_f \subset S$, auf die die $f \in F$ jeweils anwendbar sind, in die Situationsmenge S derart abbildet, dass am Ende des Transformationsprozesses eine effektive Lösung für die gegebene Problemstellung resultiert."¹

Ueckert (75) hat die oben angeführte Definition von Kirchner systemtheoretisch gefasst und formalisiert und insofern erweitert, indem er den Problemlösungsprozess in eine sukzessive zeitliche Aufeinanderfolge von Situationstransformationen aufspaltet. Diese Gliederung ermöglicht die Darstellung eines Problemlösungsvorganges als sequentielles Hintereinander von Systemoperationen (vgl. den 'Turm von

¹Ueckert, H.: Systemtheoretische Ansätze zur Theorie des Problemlösens, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 183 (1975), Heft 1, S. 88 u. 89

Hanoi' bei Ueckert (75); das Schachspiel bei Seidel (77); 'Kodebrecher' in dieser Arbeit) und - bei bekannten, informationstheoretisch erfassten Übergangswahrscheinlichkeiten - auch die Simulation von Problemlösungsprozessen. (Vgl. auch Kap. 2.2.: Prozesscharakter des Denkens und Kap. 2.1.: Aspekte des Denkens: Behaviorismus und Gestalttheorie.)

2.5. Kognitive Prozesse beim Lösen von Problemen

Nach Dörner (76) benötigt der Problemlöser ein bestimmtes Wissen über den Realitätsbereich, in dem das Problem zu lösen ist (das entspricht der Grundmenge S von Problemsituationen in der Definition einer Problemstellung von Ueckert (75), aus der konkrete Aufgabenstellungen für das aktuelle Problemlösen entnommen werden können; vgl. 2.4.). Dieser Teil der kognitiven Struktur wird als epistemische Struktur bezeichnet.¹ (Vgl. Hesse (78))

Das innerorganismische Abbild eines Problemlösungsprozesses ist natürlich nicht erfassbar, sondern nur in groben Umrissen aus dem Ablauf des Problemlösungsvorganges erschliessbar (vgl. 2.2.). Nehmen wir nun an, dass zunächst der Versuchsperson keine Verkettung von Operationen zur Verfügung steht, um das Problem zu lösen, dann muss nach Klix (76) das Erreichen des Zielzustandes durch Operationswahl nach den Regeln der Hypothesenbildung versucht werden.² Erfolgt keine Rückmeldung über die Zielnähe (was bei den meisten Problemstellungen im psychologischen Experiment der Fall ist), wird nach Klix ein strategisches Vorgehen

¹ Dörner, Dietrich: Problemlösen als Informationsverarbeitung. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1976. S.12

² Klix, Friedhart: Über Grundstrukturen und Funktionsprinzipien kognitiver Prozesse, in: Klix, Friedhart: Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse. Kindler Verlag, München 1976. S. 31

notwendig, d.h. die Hypothesen müssen nach Regeln verknüpft sein.¹ Im Umgang mit dem Problem und wachsender Erfahrung wird der Problemlöser Strategien entwickeln, erproben und verwerfen, die Aufschluss über seinen inneren Informationsverarbeitungsprozess und seine Vorstellungen von der vorgegebenen äusseren Problemstruktur (= inneres Abbild des äusseren Problemzustandes samt der das Problem betreffenden Interdependenzen) gewähren. (Zum Begriff 'Struktur' siehe Klix (76) und Klix u. Krause (69): Zur Definition des Begriffs 'Struktur', seiner Eigenschaften und Darstellungsmöglichkeiten in der Experimentalpsychologie; vgl. auch Süllwold (69), der in seinem Aufsatz: "Bedingungen und Gesetzmässigkeiten des Problemlösungsverhaltens" die gestalttheoretische Auffassung von "Problemlösungsverhalten" darstellt und den probabilistischen Charakter desselben betont.)

Werden Verbindungen geschaffen zwischen Klassen von Zuständen und Klassen von Operationen, so erhalten wir nach Klix (76) Begriffe,

"die aus der Klassifizierung von Begriffen entstehen und die in diesem Sinne eine Metaebene kognitiver Strukturen erzeugen. Es ist eine kognitive Ebene, in der, dementsprechend, die Hypothesenprüfung den Charakter einer Strategieprüfung annimmt - eine Ebene² also, durch die heuristisches Vorgehen möglich wird."

Nach der Definition einer Problemstellung von Ueckert (75) (vgl. Kap. 2.4.) sind die Klassen von Zuständen Teilmengen der Grundmenge S von Problemsituationen und die Klassen von Operationen Teilmengen der Operatorenmenge F; mit der (kognitiven) Verknüpfung aufeinanderfolgender Operationen entsteht (bei entsprechenden Problemzuständen) eine komplexe Teiltransformation im Problemlösungsprozess, die Problembewältigung verläuft automatisierter und der Informations-

¹ Klix, Friedhart: Über Grundstrukturen und Funktionsprinzipien kognitiver Prozesse, in: Klix, Friedhart: Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse. Kindler Verlag, München 1976. S. 31

² ebd., S. 33

verarbeitungskapazitätsbedarf reduziert sich. (Eine wesentliche Rahmenbedingung besteht nach Geuss (78) darin, dass die zur Verfügung stehende Informationsverarbeitungskapazität kleiner ist als die zu verarbeitende Informationsmenge.¹) Diese kognitive Systematisierung und Kodierung von Problemzuständen und Operationen (in Verbindung mit zwischen ihnen bestehenden Interdependenzen) führt nach Geuss (78) zur Ausbildung von Strategien:

"Eine Strategie bezeichnet intraindividuell einigermaßen konsistente, nicht zwangsläufig richtige oder optimale Versuche, Informationen in einer bestimmten Art und Weise zu segmentieren, zu reduzieren und zu organisieren."²

In dieser Auffassung spiegelt sich das Phänomen der oft beobachtbaren Rigidität und mangelnden Flexibilität menschlichen Verhaltens im allgemeinen und des Problemlösungsverhaltens im besonderen wider. (Zum letzteren vgl. die Auswertung der Experimente und deren Diskussion in dieser Arbeit; vgl. auch Maier (69): Das Denken beim Menschen - über Richtung - ; siehe Birch u. Rabinowitz: Die negative Wirkung vorhergehender Erfahrung auf das produktive Denken.)

In der Wahl und Selektion (mehr oder minder geeigneter) Strategien offenbart sich das heuristische Vorgehen des Problemlösers. Denken findet nach Dörner (76) in einem System statt, das zwei Ebenen aufweist: die erste Ebene dient als Informationsträger oder Datenbasis und die zweite übernimmt durch gezielte Aktivierung bestimmter geistiger Operationen die Steuerung des kognitiven Geschehens ("Theorie der zwei Ebenen").³

¹ Geuss, Herbert: Modelle der Informationsverarbeitung und ihre Bedeutung für das Verständnis kognitiver Entwicklungsprozesse, in Ueckert, Hans u. Rhenius, Detlef: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1978. S. 89

² ebd., S. 89

³ Dörner, Dietrich: Problemlösen als Informationsverarbeitung. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1976. S. 8

Im Gegensatz zur Aufgabe ist ein Problem dadurch charakterisiert, dass die entsprechende Lösungsmethode nicht aus dem Gedächtnis abgerufen werden kann, sondern konstruiert werden muss (vgl. Maier (69): Das Denken beim Menschen - über Richtung -). (Zum reproduktiven und produktiven Denken vgl. Maltzman (69): Denken in behavioristischer Sicht.) Zu der epistemischen Struktur benötigt der Problemlöser noch ein Konstruktionsverfahren zur Herstellung unbekannter Transformationen. Solche mehr oder minder festgelegten Pläne für die Konstruktion von Überführungen eines gegebenen Sachverhaltes in den gesuchten nennt Dörner (76) 'Heurismen' und bezeichnet die Gesamtmenge solcher Pläne im Gedächtnis eines Problemlösers mit 'heuristischer Struktur':¹

"Die Ausprägung der epistemischen Struktur bestimmt die Fähigkeit eines Individuums, innerhalb eines Realitätsbereiches 'reproduktiv' Aufgaben zu lösen, während die Ausprägung der heuristischen Struktur entscheidend für die Fähigkeit zum 'produktiven' Denken ist."²

Aufgrund seiner Widerspiegelungs- und Lernfähigkeit erwirbt der Mensch ein inneres (kognitives) Abbild, eine gedächtnismässige Repräsentation der Problemstruktur als Grundlage für seine Verhaltensentscheidungen. (Vgl. Walcher (78): Objektive Beschaffenheit einer Denkaufgabe und interne Repräsentation ihres Lösungszustands). Nach Krause, Lander und Menzel (76) reicht der Erwerb von entsprechenden Lösungsstrategien nur bei einer hinreichend einfach beschreibbaren (und damit gedächtnismässig fixierbaren) Strukturierung des Problemraumes aus:

¹ Dörner, Dietrich: Problemlösen als Informationsverarbeitung. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1976. S. 27

² ebd., S. 27

"Für hinreichend komplexere, nicht überschaubare Problemstellungen müssen andere Prinzipien der Informationsverarbeitung zur gedächtnismässigen Speicherung und Verhaltensregulation bestehen." [...] "Im Grundgedanken gehen wir davon aus, dass beim Lösen von mehreren Problemen über eine Problemstruktur (in Abhängigkeit von deren Wirkungskomponenten) sukzessiv ein kognitives Abbild aufgebaut und im Lernprozess im Sinne einer bezüglich der Aufgabenanforderungen adäquaten Widerspiegelung korrigiert wird. Dieses kognitive Abbild stimmt im allgemeinen nicht vollständig mit der objektiven Problemstruktur überein. Es wird Teile von ihr enthalten, aber auch Vorstellungen, die nicht realisierbar sind."

Krause u. Mitarb. (76) fassen den Begriff der 'Strategie' enger, der Bedeutungsaspekt verschiebt sich dementsprechend. Semantisch gesehen geht hier mit der syntagmatischen Veränderung des sprachlichen Umfeldes auch paradigmatisch eine Umstrukturierung des sprachlichen Systems einher, in dem der Stellenwert der benutzten Begriffe anders definiert ist, obwohl phänomenologisch indirekt das gleiche Geschehen beschrieben wird. Aus informationstheoretischer Sicht sind die in diesem Kapitel (2.5.) dargestellten Auffassungen voll kompatibel und systemtheoretisch absolut gleichwertig, da jeglicher (kognitiver) Problemlösungsprozess grundsätzlich in einer anderen Sprache (z.B. Programmsprache für elektronische Datenverarbeitungssysteme) simuliert werden kann, solange nur geeignete Elementarhandlungen mit entsprechenden Interdependenzen nach Kap. 2.2. erfasst werden, die das reale Problemlösungsverhalten adäquat widerspiegeln.

Das Dilemma, in dem sich meiner Ansicht nach auch heute noch der experimentell tätige Forscher befindet, der die psychologische (in Abgrenzung zur systemtheoretischen) Begriffsbildung untersuchen will, wurde von Ach (69) schon im Jahre 1921 folgendermassen beschrieben:

¹ Krause, B. u. Lander, H.J. u. Menzel, G.: Über einen Dekompensationsansatz zur Herausbildung von Entscheidungsstrukturen beim Problemlösen, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 184 (1976), Heft 2, S. 268

"Die Erweiterung unserer wissenschaftlichen Erkenntnis hängt vor allem von der Ausbildung geeigneter Methoden ab. Da unser Wissen von der psychologischen Begriffsbildung noch in den ersten Anfängen steckt, so können wir schliessen, dass es wahrscheinlich an hinreichend durchgebildeten, den Tatbestand der Bedeutungsverleihung selbst erfassenden Methoden fehlt."¹

(Vgl. auch Lewin (69): Grundzüge der topologischen Psychologie. S. 25 - 29: "Einleitung: Der gegenwärtige Stand der Psychologie"².)

Auf die Frage, inwieweit menschliches Verhalten und die nach einem bestimmten Algorithmus erfolgende Simulation (z.B. auf einem programmierbaren Rechenautomaten) 'tatsächlich' (vgl. Kap. 1.1.: Erscheinungsweise und Wirklichkeit in der Psychologie) übereinstimmen, soll hier nicht eingegangen werden. (Vgl. z.B. Dörner, Lutz u. Meurer (67): Informationsverarbeitung beim Konzepterwerb; innerhalb einer Theorie der menschlichen Informationsverarbeitung beim Konzepterwerb versuchen Dörner u. Mitarb. einen komplizierten menschlichen Denkprozess als Algorithmus darzustellen.³) Weitere Ausführungen und Literaturhinweise zu diesem Thema sind in folgendem Buch zu finden: Groner, Rudolf: Hypothesen im Denkprozess - Grundlagen einer verallgemeinerten Theorie auf der Basis elementarer Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1978.

¹ Ach, Narziss: Begriffsbildung und Suchmethode, in Graumann, Carl Friedrich: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969. S. 337

² Lewin, Kurt: Grundzüge der topologischen Psychologie. Huber Verlag, Bern 1969. S. 25 - S. 29

³ Dörner, D. u. Lutz, W. u. Meurer, K.: Informationsverarbeitung beim Konzepterwerb, in: Zeitschrift für Psychologie, Band 174 (1967), Heft 3/4, S. 194 ff.

3. Das Problemlösungsspiel Kodebrecher

3.1. Informationstheoretischer Zugang

Bezeichnen wir mit $\bar{S}$ die Gesamtheit der auf den Organismus ausgestrahlten Informationen (komplexe Ausgangssituation $\bar{S}$) und mit $S \subset \bar{S}$ die Information der für ihn relevanten, in der physikalischen Umwelt erfassbaren Stimuluskonfiguration. Diese Information S wird im Wahrnehmungsprozess vom Organismus aufgenommen (Informationsaufnahme IA) und kognitiv verarbeitet (Informationsverarbeitungsprozess IV). Anschließend erfolgt eine Informationsabgabe als komplexe Reaktion $\bar{R}$ auf die Stimuluskonfrontation, von der eine Teilmenge $R \subset \bar{R}$ beobachtbar ist und als relevant protokolliert zu werden vermag (Informationsoutput IO). (Vgl. Kap. 1.: Einleitung; besonders Kap. 1.4.: Verhaltensgleichung und psychologische Fremdbeobachtung.)

In der behavioristischen Reiz-Reaktionsbeziehung (vgl. Kap. 2.2.) kann die 'black box' (vgl. Abb. 1) jetzt informationstheoretisch folgendermassen aufgefüllt werden:

$$(3) \quad IA \longrightarrow IV \longrightarrow IO$$

mit folgenden drei Komponenten:

1. Informationsaufnahme IA: Die von der physikalischen Umwelt ausgesandten Informationen werden bereits in den Rezeptoren selektiert und in die systemeigene Sprache (z.B. Nervenimpulse) kodiert und zum Gehirn (Zentrales Nervensystem ZNS) geleitet.
2. Informationsverarbeitungsprozess IV: Im ZNS wird die ankommende Information intern aufgrund bereits gespeicherter Informationen (im Gedächtnis) kognitiv verarbeitet und den Effektoren Befehle übermittelt.

3. Informationsoutput IO: Die Effektoren führen die vom ZNS stammenden Befehle aus, wirken also wieder auf die (beobachtbare) physikalische Umwelt ein.

Der gesamte behavioristische Ansatz ist damit für die Reiz-Reaktionskombination informationstheoretisch durch folgende systemtheoretische Verkettung erweitert worden:

$$(4) \quad S \rightarrow IA \rightarrow IV \rightarrow IO (= R) \quad ,$$

wobei S und R beobachtbar sind (vgl. Kap.1.4.).

In der vorliegenden Arbeit werden komplexe kognitive Informationsverarbeitungsprozesse untersucht, also aufgrund von S und R Aussagen über Denkvorgänge gewonnen. Betrachten wir den Prozess der Informationsverarbeitung nach (4), so ergibt sich für die bedingte Wahrscheinlichkeit der Reaktion R bei Vorliegen der Situation S:

$$(5) \quad p(R/S) = p(IA/S) \times p(IV/IA) \times p(R/IV)$$

Gleichung (5) ist zu entnehmen, dass zum Studium kognitiver Informationsverarbeitungsprozesse $p(IA/S)$ und $p(R/IV)$ möglichst nahe bei '1' liegen müssen, um ausschliesslich den Denkvorgang IV und nicht vor- (IA) oder nachgelagerte (IO) Prozesse zu erfassen.

$p(IA/S) = 1$ bedeutet, dass die für den Problemlösungsprozess relevanten Stimuli eindeutig identifiziert werden, die Gesamtheit der relevanten Information vom Problemlöser wahrgenommen, dekodiert und zum ZNS weitergeleitet wird. Der Wahrnehmungsprozess ist in diesem Sinne optimal und übt keinen Einfluss auf das Problemlösungsverhalten aus.

$p(R/IV) = 1$ bedeutet, dass dem Problemlöser ein geeignetes Repertoire an Verhaltensweisen zur Verfügung steht, welches ihm gestattet, den Output seines Informationsverarbeitungsprozesses in Gänze in entsprechende Reaktionen umzusetzen; der (beobachtbare) Informationsoutput (IO) muss also die vom Organismus bezüglich der Stimuli S verarbeiteten Informationen in ihrer Gesamtheit widerspiegeln.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zum Studium von rein kognitiven Vorgängen solche Problemstellungen nötig sind, in denen der Problemlöser sowohl die problemrelevante Ausgangssituation in ihrer Gesamtheit erfasst als auch in der Lage ist, den Output seines kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses entsprechend in die Tat umzusetzen. (Vgl. die Diskussion der Fremdbeobachtung in Kap. 1.4..) Diese Forderung bedeutet natürlich eine starke Einschränkung der Freiheitsgrade geeigneter Versuchsdesigns. (Vgl. die Ausführungen von Klix und Rautenstrauch-Goede (67) in der Einführung, Kap. O..)

3.1.1. Das Problemlösungsspiel Kodebrecher aus informationstheoretischer Sicht

Beim Problemlösungsspiel Kodebrecher kommuniziert der Problemlöser mit einem Rechner in der vom Algorithmus geforderten Sprache. Die Bedienung des Rechners und die Dekodierung des Rechneroutputs in der Anzeige sind leicht und werden vor Beginn der Versuchsserie jeweils ausreichend geübt. Die Informationsaufnahme der Versuchsperson erfolgt visuell vom Display (Informationsoutput des Rechners) und wird über die Niederschrift und Vergleich mit der Anzeige optisch kontrolliert. Als Informationsoutput des Problemlösers dient die Eintastung einer vierziffrigen Zahl in

den Rechner (Informationsinput für den Rechner), die wiederum visuell im Display kontrolliert und mit der Niederschrift im Protokollbogen verglichen wird und - falls nötig - korrigiert werden kann. Zur Illustration dieser Verhältnisse bei der programmierten Fassung von Kodebrecher dient folgender Kreisprozess in Abb. 3:

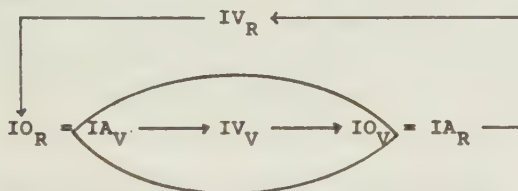


Abb. 3: Fließdiagramm zu Kodebrecher;

IA _R :	Informationsinput Rechner	,
IA _V :	" Versuchsperson	,
IV _R :	Informationsverarbeitung Rechner	,
IV _V :	" Versuchsperson,	
IO _R :	Informationsoutput Rechner	,
IO _V :	" Versuchsperson	.

IA_V und IO_V werden vom Problemlöser optisch kontrolliert.

Beim Problemlösungsspiel Kodebrecher haben wir also die in Kap. 3.1. gestellten Forderungen weitgehend erfüllt. Mit $p(\text{IA}/\text{S}) = 1$ und $p(\text{R}/\text{IV}) = 1$ geht die Gleichung (5) über in:

$$(6) \quad p(\text{R}/\text{S}) = p(\text{IV}/\text{IA}) \quad .$$

Mit der programmierten Fassung des Problemlösungsspiels Kodebrecher sind wir folglich in der Lage, den kognitiven Informationsverarbeitungsprozess anhand der in der physikalischen Aussenwelt beobachtbaren und zugänglichen Größen S (manipulierbar) und R zu studieren.

3.2. Die Interpolationsbarriere in Kodebrecher.

Im Problemlösungsspiel Kodebrecher ist es Aufgabe der Versuchsperson, eine vierziffrige Zahl zu bestimmen, die ein Taschenrechner intern erzeugt hat.

In der Darstellung von Klix (73) sind bei Kodebrecher Problemraum und Suchraum identisch; damit ist die Menge der erlaubten einzelnen Transformationen (Operatorenmenge F) nach Ueckert (74) dem Problemlöser bekannt (vgl. Kap. 2.4.).

Nach der Definition der Problemtypen von Dörner (76) besteht das Problem in Kodebrecher in einer Barriere, die die Transformation des bekannten Anfangszustandes in den wohldefinierten Endzustand verhindert (vgl. Kap. 3.4.). Nach Dörner ist in Problemen, in denen es allein darum geht, die richtige Kombination oder Folge aus einer Reihe bekannter Operationen zu bilden, eine Interpolationsbarriere vorhanden.¹

Kodebrecher erfordert eine optimale individuelle Entscheidung unter Unsicherheit, was sich nach Schaefer (78) mit "probabilistischer Informationsverarbeitung" bezeichnen lässt, da die Entscheidung selbst weder subjektiven Wert noch Nutzen beinhaltet, sondern nur Unsicherheiten oder Wahrscheinlichkeiten enthält. (Vgl. auch Ueckert (78), der menschliches Denken weder als deterministisch noch als probabilistisch auffasst, sondern von "possibilistischen kognitiven Prozessen"³ spricht.)

¹ Dörner, Dietrich: Problemlösen als Informationsverarbeitung. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1976. S. 12

² Schaefer, Ralf Erwin: Mathematische Entscheidungstheorie und kognitive Strategien der Informationsverarbeitung, in Ueckert, Hans u. Rhenius, Detlef: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1978. S. 391 u. 392

³ Ueckert, Hans: Nicht-deterministisches, nicht-probabilistisches Denken und Erkennen: Possibilistische kognitive Prozesse, in Ueckert, Hans u. Rhenius, Detlef: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1978. S. 59 ff.

Nach Durchdringung der von aussen vorgegebenen Struktur und Lösung des Problems ist bei vielen Problemstellungen keine weitere Information über den kognitiven Verarbeitungsmechanismus zu gewinnen: Das Problem ist für alle Zeiten gelöst, die Problemlösungsstruktur gefunden und im Gedächtnis des Problemlösers abrufbereit gespeichert. Das Spiel verliert an Reiz (es hat keinen Aufforderungscharakter mehr), die Aussagen über den Prozess der Problembewältigung werden redundant und können allenfalls für die Untersuchung kognitiv sekundärer Phänomene - wie z.B. von Ermüdungseffekten etc. - verwandt werden.

Bei Kodebrecher dagegen handelt es sich um ein komplexes Informationsverarbeitungsspiel, bei dem die während eines Problemlösungsprozesses eingehende Informationsmenge die vorhandene Informationsverarbeitungskapazität des Problemlösers bei weitem übersteigt. Kodebrecher stellt die Versuchspersonen auch noch nach vielen gelösten Spielen aufgrund der grossen Anzahl von Problemzuständen vor ein echtes Problem, was die Anwendung heuristischer Techniken erfordert (vgl. Kap. 2.5.).

Diese Ausbildung individueller Strategien im Problemlösungsprozess ermöglicht es, (im Rahmen der Aufgabenstellung) zuverlässige Daten über die Versuchsperson zu gewinnen, die Aufschluss über ihre Leistungsfähigkeit und und ihr Lernvermögen geben. (Vgl. Taylor u. Faust (69): Zwanzig Fragen - Die Leistungsfähigkeit beim Problemlösen als Funktion der Gruppengrösse. Siehe auch: Maier u. Rey (74): Eine experimentelle Untersuchung über Strategielernen denkgestörter Schizophrener.)

Eine Verfälschung der Versuchsergebnisse, wie sie bei Fragebögen z.B. infolge sozialer Erwünschtheit etc. auftreten kann (vgl. Sieber (79): Zur Zuverlässigkeit von Eigenangaben bei einer Fragebogenuntersuchung) , ist wegen der Un-

durchschaubarkeit von Problemlösungsaufgaben in der Art von Kodebrecher nicht möglich. Es bietet sich somit an, (undurchschaubare) Problemlösungsaufgaben als Teil einer psychologisch-diagnostischen Testbatterie einzusetzen, um Aufschluss über den kognitiven Informationsverarbeitungsmechanismus wie auch die Lern- bzw. Anpassungsfähigkeit (inneres Abbild - äussere Problemstruktur; vgl. Kap. 2.5.) der Probanden zu gewinnen, die objektiv sind und nicht in eine für die Probanden positive Richtung verfälscht werden können.

3.3. Zum Einsatz eines programmierbaren Rechners als Rückmeldeeinheit

In der vorliegenden Arbeit wird den Versuchspersonen das Problemlösungsspiel Kodebrecher auf einem Taschenrechner programmiert vorgelegt (zum Algorithmus vgl. Texas Instr. (77)). Diese Art der Problemvorgabe bietet gegenüber dem üblichen Vorgehen folgende gravierende Vorteile:

1. Der Informationsoutput des Rechners ist Informationsinput für den Problemlöser und umgekehrt (vgl. Abb.3). Der Problemlöser notiert seine Züge und die Rückmeldung des Rechners während der sukzessiven Annäherung an die Lösung des Problems (vgl. Kap. 2.2.: Prozesscharakter des Denkens), verfasst sein Versuchsprotokoll mit allen für die weitere Auswertung benötigten Daten (für das Problemlösungsverhalten) somit selbst.
2. Der Problemlöser benötigt keinen Gegenspieler, sondern erhält die entsprechende Rückmeldung von einem Taschenrechner, der die einzelnen Spielzüge verrechnet. Der zu kontrollierende Versuchsrahmen beschränkt sich

also praktisch ausschliesslich auf den Problemlöser, aus dessen Problemlösungsverhalten Aufschluss über seine individuellen kognitiven Informationsverarbeitungsmechanismen gewonnen werden soll.

3. Der Taschenrechner ist nach kurzer Einweisung von den Versuchspersonen leicht handhabbar, netzunabhängig und praktisch überall einzusetzen. Damit wird die Ausübung des Problemlösungsspiels Kodebrecher weder von zeitlichen noch örtlichen Grenzen nennenswert eingeschränkt.

Die Benutzung eines 'denkenden' Rechners (der sich eine zu erratende Zahl 'denkt' und Rückmeldung über die Richtigkeit der eingetasteten Zahl gibt), der in Kommunikation mit dem Problemlöser tritt, übt zusammen mit dem durch die grosse Komplexität bedingten Reiz des Spieles eine ungeheure Faszination auf die Versuchspersonen aus. Der Anforderungscharakter in der programmierten Version von Kodebrecher ist so hoch, daß der Autor selbst oft stundenlang mit wachsender Verbissenheit den jeweiligen Code zu knacken versucht, ein Verhalten, das auch bei allen bisher beobachteten Versuchspersonen wahrnehmbar ist.

3.4. Mathematische Beschreibung von Kodebrecher

Nach der stringenten Versuchsanweisung (vgl. Kap. 4.) besteht jeder Zug im Verlauf des Probembewältigungsprozesses bei Kodebrecher aus vier Ziffern, die als Elemente in der Menge $(1, 2, \dots, 9)$ enthalten sind und nicht doppelt vorkommen dürfen. Die Anzahl der verschiedenen möglichen Züge ergibt sich damit als Permutation von 9 über 4:

$$P\left(\begin{smallmatrix} 9 \\ 4 \end{smallmatrix}\right) = 3024 \quad .$$

3.4.1. Auftretenswahrscheinlichkeit der Anzeigen nach dem ersten Zug

Als Rückmeldung über die eingetastete vierziffrige Zahl (nach Verrechnung (IV_R) - vgl. Abb. 3) erscheint im Display des Rechners eine Anzeige der Form 'M.N' mit $N, M \in (0, 1, \dots, 4)$; $N + M \leq 4$ und $M.N \neq 3.1$. Die Zahl vor dem Punkt (M) gibt die Anzahl der eingetasteten Ziffern an der richtigen Stelle und die Zahl nach dem Punkt (N) die Anzahl der eingetasteten Ziffern an, die zwar in der zu erratenden Ziffernfolge enthalten sind, jedoch an der falschen Stelle stehen. (Dieser Sachverhalt wird in der Versuchsanweisung in Kap. 4. erläutert und an einem Beispiel illustriert.)

Die Ausgangsmenge A_0 besteht aus 3024 Elementen; demnach beträgt die Wahrscheinlichkeit $w(4.0)$, die Geheimzahl beim ersten Zug richtig zu erraten (d.h. im Display erscheint die Anzeige 4.0) :

$$w(4.0) = 1/3024 = 0,033\% \quad .$$

Kommt es nicht auf die Reihenfolge der Ziffern an, so muss man die Permutation durch die mögliche Anzahl der unterschiedlichen Anordnungen teilen:

$$C\binom{9}{4} = \frac{P\binom{9}{4}}{4!} = \frac{3024}{24} = 126$$

Dies wird als Kombination von 9 über 4 bezeichnet.

Ohne Berücksichtigung der Reihenfolge existieren also 126 Möglichkeiten, 4 verschiedene Elemente aus einer Menge von 9 unterschiedlichen Elementen herauszugreifen, d.h. in unserem Fall, die 4 Ziffern bereits beim ersten Zug richtig zu erraten. Die Wahrscheinlichkeit, nach dem ersten Zug die Anzeigen 4.0, 2.2, 1.3 oder 0.4 im Display zu erhalten, beträgt demnach:

$$w(4.0 \vee 1.3 \vee 2.2 \vee 0.4) = 1/126 = 0,79\%$$

(Die systemtheoretisch optimale Verzweigungsstruktur zur endgültigen Bestimmung der Geheimzahl ist in Kap. 3.5.6. exemplarisch für die Anzeige 2.2. nach dem ersten Zug graphisch dargestellt.)

Die Auftretenswahrscheinlichkeiten $w(N.M)$ der einzelnen Anzeigen nach dem ersten Zug sind analog zu obigen Überlegungen berechnet worden, indem die Anzahl K der möglichen Ziffernkombinationen bei der jeweiligen Anzeige im Display bestimmt wurde. In Tabelle 1 sind die Anzeigen ihrer Auftretenshäufigkeit beim ersten Zug nach angeordnet und der Algorithmus zur Bestimmung von K (der Anzahl der möglichen Ziffernkombinationen, die durch die Anzeige $M.N$ selektiert werden), K und die relative prozentuale Auftretenshäufigkeit $w(M.N)$ (die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der jeweiligen Anzeige nach dem ersten Zug in Prozent) aufgeführt:

Tabelle 1: Auftretenswahrscheinlichkeiten $w(M.N)$
nach dem ersten Zug

<u>Anzeige</u> <u>(M.N)</u>	<u>Anzahl der Ziffern-</u> <u>kombinationen¹ K</u>	<u>Auftretensw.</u> <u>w(M.N) in %</u>
0.2	$7 \times C_2^4 \times P_2^5 = 840$	27,78
0.1	$(P_1^4 - 1) \times P_1^4 \times P_3^5$ $= 720$	23,81
1.1	$6 \times P_1^4 \times P_2^5 = 480$	15,87
1.0	$C_1^4 \times P_3^5 = 240$	7,94
0.3	$11 \times P_1^4 \times P_1^5 = 220$	7,28
1.2	$C_2^3 \times P_1^3 \times P_1^4 \times P_1^5$ $= 180$	5,95
0.0	$P_4^5 = 120$	3,97
2.0	$C_2^4 \times P_2^5 = 120$	3,97
2.1	$C_2^4 \times (P_1^4 - 2) \times P_1^5$ $= 60$	1,98
3.0	$C_3^4 \times P_1^5 = 20$	0,66
0.4	9	0,30
1.3	8	0,26
2.2	6	0,20
4.0	1	0,03

Die Summe aller Auftretenswahrscheinlichkeiten beträgt 100%,
da durch die Anzeigen paarweise disjunkte Mengen gebildet
werden.

¹ Anm.: Zur ausführlichen Herleitung siehe Kap. 7.1. .

3.4.2. Systemtheoretische Struktur

In Kodebrecher kommuniziert der Problemlöser mit dem Rechner in einer vom programmierten Algorithmus geforderten Sprache (vgl. Kap. 3.1.); die von ihm eingetastete Ziffernfolge (Zug Z) ist als Operation im Problemlösungsprozess selbst ein Element der vorgegebenen Problemsituation. Damit ist Kodebrecher elementar systemtheoretisch beschreibbar, da folgende Mengen in der Definition einer Problemstruktur von Ueckert (74) (vgl. Kap. 2.4.) zusammenfallen:

$$S = X' = X = Y' = Y = F \quad .$$

Durch den ersten Zug Z_1 (als Operation im Problemlösungsprozess) wird über die Rechneranzeige (M.N) eindeutig eine Teilmenge A_1 der Ausgangsmenge A_0 bestimmt, was wir formal folgendermassen schreiben:

$$(7) \quad Z_1(A_0) = A_1 \subset A_0 \quad .$$

Die Anzahl der in A_1 enthaltenen Elemente entnimmt man aus Tab.1 . Erscheint z.B. als Rückmeldung des Taschenrechners die Anzeige 2.0 im Display, so sind in A_1 noch 120 Elemente der Ausgangsmenge A_0 mit 3024 Elementen enthalten: $K(2.0) = 120$. A_1 ist durch die Anzeige (in Verbindung mit dem entsprechenden Zug Z_1) vollständig spezifiziert; der Beweis erfolgt indirekt und ist trivial.

Zur weiteren Einengung des Suchraumes und Reduzierung der Anzahl infrage kommender Ziffernkombinationen wird ein zweiter Zug $Z_2 \neq Z_1$ auf die Teilmenge A_1 angewandt, und es bildet sich eine weitere Teilmenge $A_2 \subset A_1$, falls systemtheoretisch optimal vorgegangen wird, was in diesem Kap. 3.4.2. vorausgesetzt wird.

$$(8) \quad z_2(A_1) = A_2 \subset A_1$$

oder mit (7)

$$(9) \quad z_2(z_1(A_0)) = A_2$$

Allgemein ergibt sich folgende Rekursionsformel:

$$(10) \quad z_n(A_{n-1}) = A_n \subset A_{n-1} ; n \in \mathbb{N}$$

oder analog zu (9):

$$z_n(z_{n-1}(z_{n-2} \dots (z_1(A_0)))) = A_n ,$$

was allgemein als Produkt von Transformationen (= sequentielle Aufeinanderfolge von Handlungsoperationen im Problemlösungsprozess) beschrieben wird:

$$(11) \quad z_k(A_0) = A_n \quad ; \quad z_i \neq z_j \text{ für } i \neq j; \\ 1, j, k, n \in \mathbb{N} .$$

Für den optimalen Problemlösungsprozess bedeutet Glg. (10), dass die Versuchsperson den folgenden Zug auf die Teilmenge anzuwenden hat, die durch die Gesamtheit der vorausgegangenen Züge (und den jeweiligen Anzeigen) selektiert wurde, also eine Ziffernfolge aus der betreffenden Teilmenge wählt; in (10) muss also z_n ein Element von A_{n-1} sein.

Da sich im Verlauf des Problemlösungsprozesses die Parameter der zugrunde liegenden Wahrscheinlichkeitsverteilungen ändern, nämlich die Auftretenswahrscheinlichkeiten der Ereignisse 'Anzeige M.N', können wir bei den einzelnen Zügen nicht von ergodisch stochastischen Folgen sprechen. (Als elementares Beispiel muss nach dem letzten Zug in Codebrecher, also unmittelbar bei der Lösung des

Problems, mit 100%-iger Gewissheit die Anzeige '4.0' im Display erscheinen, ein Ereignis, das beim ersten Zug nach Tab. 1 nur in 0,03% aller Fälle auftritt.) Die Ergodizität der Ereignisfolgen stellt nach Mittenecker und Raab (73) eine Grundbedingung für die informationstheoretische Analyse sequentieller Prozesse dar, die ausgehend von Markoffprozessen zu Markoffkettenbildungen führt.¹ (Zu einer informationstheoretischen Näherung im Falle des Problemlösungsspiels Kodebrecher siehe Kap. 3.5.1.: Stochastisch unabhängige Züge; vgl. auch Kap. 3.6.)

Ist in der Teilmenge A_n (Glg. (10)) schliesslich nur noch ein Element enthalten (die 'Geheimzahl'), bricht die Rekursion ab (da $z_{n+1} = z_n = a_n$, dem einzigen Element der Menge A_n entspräche, was nach (11) nicht erlaubt ist), und die Geheimzahl ist nach n irredundanten Schritten (d.h. systemtheoretisch optimal) bestimmt worden. Im Display erscheint die Anzeige '4.0', das Problem ist gelöst, ein neues kann angegangen werden (vgl. Kap. 4.).

¹Mittenecker, Erich u. Raab, Erich: Informationstheorie für Psychologen. Hogrefe Verlag, Göttingen 1973. S. 27 u. 28

3.5.

Kognitiver Informationsverarbeitungsprozess bei Kodebrecher

Die Unsicherheit des Problemlösers in der Anwendung optimaler Züge entsprechend Glg. (8) und (10) ist besonders in der Anfangsphase des Problemlösungsprozesses beim ersten und zweiten Zug sehr gross. Im Verlauf des Spieles wird bereits nach wenigen Zügen die im Protokollbogen niedergeschriebene Information so komplex, dass im allgemeinen die Informationsverarbeitungskapazität des Problemlösers bei weitem überschritten wird. (Die Kapazität des Gedächtnisses braucht hier nicht diskutiert zu werden, da die bisherigen Spielzüge samt Anzeigen im Protokollbogen festgehalten sind und dem Problemlöser vorliegen.)

Im Verlauf des Problemlösungsprozesses müssen geeignete Heuristiken entwickelt werden, um den kognitiven Verarbeitungsprozess zu organisieren und automatisieren, damit der Informationsverarbeitungskapazitätsbedarf ausreichend reduziert wird (vgl. Kap. 2.5.). Die Qualität der angewandten Strategien (als beobachtbare Auswirkung des inneren Abbildes der äusseren Problemstruktur auf das Problemlösungsverhalten - vgl. Kap. 1. und Kap. 2.3.) gemessen an der systemtheoretischen Beschreibung von Kodebrecher (Kap. 3.4.2.) wird sich in der Wahl der nachfolgenden Züge aufgrund der Bewertung und kognitiven Verarbeitung der bereits ausgeführten Züge samt ihrer Anzeigen ausdrücken.

Schon der zweite Zug Z_2 ist nicht mehr unabhängig vom vorausgegangenen Zug Z_1 , da er vom Problemlöser nicht auf die Ausgangsmenge A_0 , sondern auf eine Teilmenge A_1 angewandt werden sollte (vgl. Kap. 3.4.2.). Bei optimaler Anpassung an die systemtheoretische Struktur von Kodebrecher ergibt sich für die Wahrscheinlichkeit, im ersten Zug die Teilmenge $A_1 \subset A_0$ und im nachfolgenden $A_2 \subset A_1$ zu erhalten:

$$(12) \quad w(A_1 A_2) = w(A_1) \times w(A_2/A_1) \quad ;$$

mit:

$w(A_1)$: Wahrscheinlichkeit, mit dem ersten Zug Z_1 die Teilmenge $A_1 \subset A_0$ zu selektieren (vgl. Kap. 3.4.1. und Tab. 1) ;

$w(A_2/A_1)$: Wahrscheinlichkeit, mit dem zweiten Zug Z_2 die Teilmenge $A_2 \subset A_0$ zu selektieren, unter der Bedingung, dass er auf A_1 angewandt wird .

Im Falle des Problemlösungsspiels Kodebrecher gilt für die bedingte Wahrscheinlichkeit:

$$(13) \quad w(A_2/A_1) > w(A_2) \quad ,$$

da durch die Vorgabe von A_1 bereits Information über den Suchraum vorhanden ist (vgl. Kap. 3.4.2.), und damit der vorausgegangene Zug (samt Rückmeldung des Rechners) nicht redundant für den nachfolgenden ist.

Mit (13) folgt aus (12)

$$(14) \quad w(A_2 A_1) > w(A_1) \times w(A_2) \quad .$$

Allgemein gilt:

$$(15) \quad w(A_n/A_{n-1}) > w(A_n)$$

und analog zu (14):

$$(16) \quad w(A_n A_{n-1} \dots A_1) > \prod_{k=1}^n w(A_k) \quad ; n \in \mathbb{N} .$$

3.5.1. Stochastisch unabhängige Züge

Für stochastisch unabhängige Ereignisse werden die beiden Terme der Ungleichung (16) gleich:

$$(17) \quad w(A_n A_{n-1} \dots A_1) = \prod_{k=1}^n w(A_k) \quad ; n \in \mathbb{N} .$$

Dies bedeutet für den (stochastischen) Problemlösungsprozess in Kodebrecher eine elementare aufeinanderfolgende mengentheoretische Durchschnittsbildung, in der die über die betreffende Teilmenge (in Glg. (10) A_{n-1}) bereits vorliegende Information aus vorausgegangenen Zügen für den folgenden Zug nicht berücksichtigt wird. Der Problemlöser wendet dieser Vorstellung entsprechend seinen jeweiligen Zug auf die Ausgangsmenge A_0 an und nicht auf die Teilmenge, die durch die Gesamtheit der vorausgegangenen Züge bereits selektiert worden ist; der zweite Zug erfolgt somit unabhängig vom ersten und der dritte unabhängig vom zweiten und ersten (etc.).

Zur Illustration des stochastischen Vorgehens durch Schnittmengenbildung dient Abb. 4. Durch den ersten Zug und der Rückmeldung durch den Rechner werde die Information vermittelt, das gesuchte Element (die 'Geheimzahl') liege in der Teilmenge B (Abb. 4a). Der zweite Zug (erfolgt unabhängig vom ersten und) liefere ~~samt~~ Anzeige die Information, das gesuchte Element liege in der Teilmenge E (Abb. 4b). Durch diese Rasterung der Ausgangsmenge A_0 folgt, dass das gesuchte Element in der Schnittmenge von B und E liegt, die in Abb. 4c schraffiert dargestellt ist.

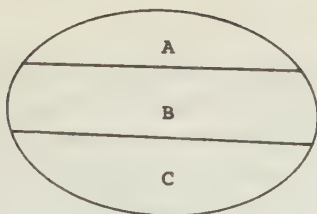


Abb. 4a

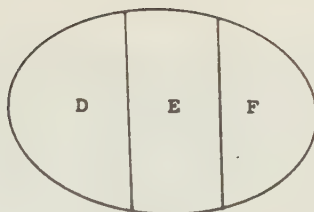


Abb. 4b

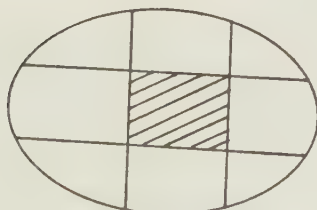


Abb. 4c

Abb. 4: Rasterung durch Schnittmengenbildung

3.5.2. Gliederung des kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses in die Anfangs- und Endphase

Diese Simplifizierung (17) ist solange erlaubt, wie in (15) die beiden Terme annähernd gleich sind, die bedingende Teilmenge A_{n-1} nach (15) für den Problemlöser also nicht einsichtig ist, und der folgende Zug damit auf die Ausgangsmenge A_0 angewandt wird. Den Anfangsbereich des Problemlösungsspiels Kodebrecher, in dem diese Bedingung (17) (annähernd) erfüllt ist, bezeichnen wir im folgenden mit 'Anfangsphase' oder 'Suchphase' (da der Suchraum eingeschränkt wird) und die Anzahl der Züge in ihr mit 'a'. (Die Anfangsphase besteht meist aus $a = 3$ Zügen und ist dadurch definiert, dass die mittlere Informationsdichte der Anzeige ($H(x)$) nach Kap. 3.6. den Wert von 2,834 bit nur unwesentlich überschreiten darf.)

Mit steigender Zugfolge enthält die Schnittmenge im Verlauf eines Spiels immer weniger Elemente (vgl. Abb. 4). Die Unsicherheit über die bedingende Teilmenge (A_{n-1} in (15)) nimmt ab, während die im Protokollbogen vorliegende und vom Problemlöser zu verarbeitende Informationsmenge anwächst, und damit der (kognitive) Informationsverarbeitungskapazitätsbedarf zunehmend grösser wird (vgl. Kap. 2.3.).

Diese Überlegungen sind schematisch in Abb. 5 dargestellt. Mit steigender Zugfolge wächst der im Protokollbogen vorliegende Informationsgehalt an (der Informationsverarbeitungsprozess wird zunehmend komplexer) (Abb. 5a), während die Unsicherheit über die gesuchte Geheimzahl abnimmt (z.B. durch elementare Schnittmengenbildung nach Abb. 4) (Abb. 5b).

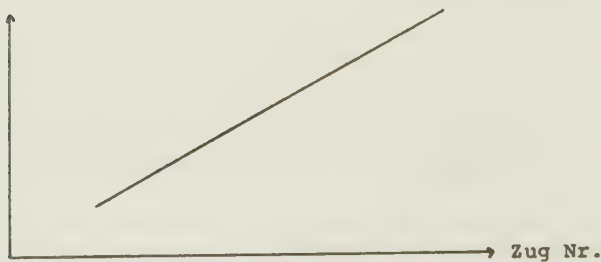


Abb. 5a: Komplexität der Informationsverarbeitung

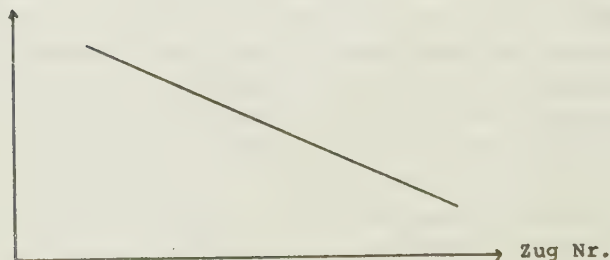


Abb. 5b: Unsicherheit

Ist nun die Schnittmenge (Abb. 4) ausreichend klein, d.h. die Unsicherheit über die bedingende Teilmenge A_{n-1} (Glg. (15)) gering, tritt der Problemlöser in die Endphase des Spiels, die wir im folgenden auch mit 'Kombinationsphase' bezeichnen, da der Problemlöser die im Protokollbogen bereits vorliegende Information für seinen folgenden Zug verwertet.

Die ehemals am stärksten besetzten Teilmengen nach Tab. 1 treten in der Endphase des Problemlösungsprozesses nicht mehr auf, da der Problemlöser bereits genügend Information über die in der Geheimzahl enthaltenen Ziffern wie auch deren Stellung gesammelt hat (vgl. Kap. 4.), um statt der Schnittmengenbildung optimalere Strategien anzuwenden; er kann z.B. eine Kombination des Aussageinhaltes der verschiedenen Anzeigen samt Zügen zur Informationsgewinnung heranziehen. (Vgl. Kap. 3.5.6.)

In der Endphase des Problemlösungsspiels Kodebrecher liegt der mittlere Informationsgehalt der einzelnen Anzeige weit über der mittleren Informationsdichte $H(x) = 2,834$ bit der Anfangsphase (vgl. Kap. 3.6.).

Mit dem Eintreten in die Endphase ist der Suchraum nach Klix (73) von 3024 auf einige wenige Elemente eingeschränkt worden. Damit wird zum Durchdringen der Interpolationsbarriere (vgl. Dörner (76); siehe auch Kap. 2.4. u. 2.5.) ein grundsätzlich anderes strategisches Vorgehen (als die Schnittmengenbildung in der Anfangsphase) notwendig, was auf die abnehmende Unsicherheit bei gleichzeitig wachsendem Informationsverarbeitungskapazitätsbedarf zurückzuführen ist (vgl. Abb. 5). (Dies drückt sich wohl am besten in der grundsätzlich anderen Bewertung identischer Anzeigen in der End- bzw. Anfangsphase aus; vgl. Kap. 3.7. .) Exemplarisch ist in Kap. 3.5.6. die Verzweigungsstruktur eines (optimal heuristischen) Problemlösungsprozesses wiedergegeben. Die Anzahl der Züge in der Endphase wird im folgenden mit 'e' bezeichnet.

3.5.3.

Zur Redundanz im kognitiven
Informationsverarbeitungsprozess

Durch das Verfahren der Schnittmengenbildung (Glg. (17)) kann jetzt mit Hilfe von Tab. 1 ein geeignetes Kriterium dafür angegeben werden, bei welchem Zug mit der Zugnummer 'a' der Problemlöser eine Schnittmenge gebildet haben müsste, die weniger als eine vorher festgelegte Anzahl 'Z' von Elementen enthält, also in die Endphase eintreten sollte (bei stochastisch unabhängigen Zügen in der Anfangsphase). Um das (tatsächliche) Erreichen der Endphase objektiv bestimmen zu können, wählen wir $Z = 20$; ¹beim Erscheinen der Anzeigen 4.0, 2.2, 1.3, 0.4 und 3.0 befindet sich der Problemlöser mit Sicherheit und bei 2.1 mit grosser Wahrscheinlichkeit in der Kombinationsphase (vgl. Tab. 1). (Zum informationstheoretischen Ansatz siehe Kap. 3.6. .)

Mit $Z = 20$ ergibt sich für die Auftretenswahrscheinlichkeit bei stochastisch unabhängigen Zügen entsprechend der Betrachtungsweise von Kap. 3.4.1.

$$w(20) = 20/3024 = 0,66 \%$$

und damit als Bedingung für die Länge der Anfangsphase (mit der Anzahl der Züge a)

$$(18) \quad \prod_{k=1}^{a-1} w(A_k) > w(20) \quad .$$

Die Ungleichung (18) stellt das Abbruchkriterium zur Bestimmung der Anfangsphase dar. Solange (18) erfüllt ist, überschaut der Problemlöser die bedingende Teilmenge (A_{n-1} in (15)) nicht, seine Züge erfolgen stochastisch unabhängig voneinander, und der Problemlösungsprozess befindet sich einschliesslich des a -ten Zuges in seinem Anfangsstadium.

¹ Anm.: Zwischen $10 \leq Z \leq 50$ ändert sich der Informationsgehalt dieser Ereignisklasse nur geringfügig und liegt zwischen 6 und 8 bit.

$w(20) = 0,66\%$ wäre ein exakter Wert, wenn vom Problemlöser nicht systemtheoretisch optimalere Strategien (etwa nach Kap. 3.4.2.) als die ausschliessliche Schnittmengenbildung angewandt werden könnten. Beobachtet und berechnet werden kann ausserdem nur $w(A_n A_{n-1} \dots A_1)$ (vgl. Kap. 3.5). Mit der Ungleichung (16) und der Abschätzung (18) folgt sofort:

$$(19) \quad w(A_{a-1} A_{a-2} \dots A_1) > w(20) \quad ; \quad a \in \mathbb{N}.$$

Das Abbruchkriterium für stochastisch unabhängige Ereignisse muss nach (16) und (18) erst recht für abhängige Ereignisse gelten. Von dieser Überlegung ausgehend wählen wir der Einfachheit halber den Wert $0,5\%$ ($H(0,5\%) = 7,64$ bit; vgl. Kap. 3.6.) und definieren nun die Anfangsphase der Länge a durch folgende Bedingung:

$$(20) \quad w(A_{a-1} A_{a-2} \dots A_1) > 0,5\%$$

In leichter Abänderung zu (16). Als Schätzung für den linken Term in (20) (der nicht ohne weiteres zugänglich ist, da an sich bedingte Wahrscheinlichkeiten berechnet werden müssten - vgl. z.B. (12)) dient uns Gleichung (17), so daß (20) übergeht in

$$(21) \quad \prod_{k=1}^{a-1} w(A_k) > 0,5\% \quad ;$$

in der Darstellung von (20) sind die Wahrscheinlichkeiten $w(A_k)$ der Tab. 1 zu entnehmen.

Die vom Problemlöser noch benötigte Anzahl von Zügen 'u', um die Endphase im Spielverlauf tatsächlich zu erreichen, ist ein Mass für die Redundanz seines kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses. Ist $u = 0$, so ist der Problemlöser praktisch irredundant in die Endphase des Problemlösungsprozesses eingetreten. Je grösser die Anzahl der redundanten Schritte ist, desto schlechter wird die Anpassung des inneren Abbildes (vgl. Kap. 2.3.) an die systemtheoretische Struktur von Kodebrecher (vgl. Kap. 3.4.2.) sein.

3.5.4. Zusammenfassende Darstellung der drei Phasen im Problemlösungsprozess

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch obige Überlegungen die Bedeutung nicht kontrollierter Komponenten im Problemlösungsspiel Kodebrecher weitgehend eliminiert worden ist. Statt der zufallsbehafteten Gesamtzahl n der Züge (bis zur Lösung des Problems) erhält man durch geeignete Abschätzungen in Kap. 3.5.3. die Zahl der redundanten Schritte u bis zum Erreichen der Kombinationsphase.

Das Problemlösungsverhalten bzw. der kognitive Informationsverarbeitungsprozess besteht den bisherigen Ausführungen zufolge aus folgenden drei wohl unterscheidbaren Komponenten:

1. Die Anfangsphase der Länge a (= Anzahl der Züge) mit überwiegender Schnittmengenbildung zur Einschränkung des Suchraumes .
2. Die Übergangsphase der Länge u ; u gibt die Anzahl der redundanten Schritte bis zum Erreichen der Endphase an .
3. Die Endphase der Länge e ; in ihr hat der Problemlöser im Verlauf des Spieles bereits genügend Information (aus der Anfangs- und Übergangsphase) über den verbleibenden Suchraum erhalten, um in ihm gezielt die Geheimzahl bestimmen zu können. .

Die Anfangsphase wird bei der Beschreibung des Problemlösungsverhaltens oft mit 'Suchphase' und die Endphase mit 'Kombinationsphase' bezeichnet.

Natürlich gilt die Gleichung: $a + u + e = n$.

3.5.5. Beispielrechnung

Die Gliederung des Problemlösungsprozesses bei Kodebrecher in seine drei Phasen entsprechend Kap. 3.5.4. sei hier kurz an einem (realen) Problemlösungsverhalten anhand der Aufzeichnungen im Protokollbogen beispielhaft demonstriert:

<u>Ziffernfolge</u>	<u>Anzeige</u>	<u>w(Anzeige)</u>
9872	1.1	15,9%
1345	0.1	23,8%
8726	1.2	6,0%
Anfangsphase		
6127	2.0	Übergangsphase
6823	3.0	
6824	4.0	Endphase

Nach dem zweiten Zug ist das Abbruchkriterium (21) erfüllt:

$$w(1.1) \times w(0.1) \times w(1.2) = 0,23\% < 0,5\% .$$

($w(A_k)$ nach (21) ist der Tab. 1 entnommen und als $w(\text{Anzeige})$ in obige Berechnung eingetragen.)

In unserem Beispiel besteht der Problemlösungsprozess aus einer Anfangsphase der Länge $a = 3$, dem sich eine Übergangsphase mit einem redundanten Schritt ($u = 1$) anschließt. In der Endphase werden $e = 2$ Züge benötigt. Die Gesamtzahl n aller benötigten Schritte ergibt sich aus $n = 3 + 1 + 2$ zu $n = 6$.

3.5.6. Verzweigungsstruktur in der Endphase

Um das gegenüber der Anfangsphase (Schnittmengenbildung) grundsätzlich andere Vorgehen des Problemlösers in der Endphase aufzuzeigen (vgl. Kap. 3.5.2.), betrachten wir exemplarisch den (nach Tab. 1 höchst unwahrscheinlichen) Fall, bei dem nach dem ersten Zug die Anzeige '2.2' im Display erscheint. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit sei die als erster Zug eingetastete Ziffernfolge die Zahl '1234'.

Da bereits alle 4 Ziffern bis auf ihre Stellung bekannt sind, besteht das (systemtheoretisch) optimale Problemlösungsverhalten nach Kap. 3.4.2. darin, mit einem Zug aus der durch die unterschiedlichen Anordnungsmöglichkeiten der 4 Ziffern gebildeten Teilmenge von A_0 (vgl. Kap. 3.1.1.) weitere Information über die Stellung der einzelnen Ziffern zu gewinnen. Die Verzweigungsstruktur dieses Problemlösungsprozesses ist im Entscheidungsbaum der Abbildung 6 dargestellt; das Problemlösungsverhalten ähnelt weitgehend einem Versuch- und Irrtumverhalten (vgl. Kap. 2.1). (Bei einem üblichen Spielverlauf sind dem Problemlöser in der Endphase natürlich schon gewisse Informationen über die Stellung der einzelnen Ziffern aus der Anfangs- und Übergangsphase (vgl. z.B. Kap. 3.5.5.) vorgegeben, und demgemäss ist die trial and error-Struktur des Problemlösungsprozesses weitgehend eingeschränkt.)

Die Darstellung jeglichen Problemlösungsverhaltens in einem Entscheidungsbaum ist bei Codebrecher zwar prinzipiell möglich, erfordert jedoch wegen der hohen Komplexität dieses Problemlösungsspiels den Einsatz elektronischer Datenverarbeitungssysteme von grosser Kapazität: Bei einer (mittleren) Schrittzahl von $n = 6$ Zügen beträgt die Anzahl der möglichen Verzweigungen vom zweiten bis zum sechsten Zug:

$$P\binom{3023}{5} = 2,5 \times 10^{17}$$

Auch wenn viele dieser möglichen Verzweigungen gleiche innere Struktur besitzen und somit identischen Klassen zugehören, ist diese Zahl doch so ungeheuer gross, dass die im Entscheidungsbaum enthaltene Information für das Verständnis kognitiver Informationsverarbeitungsprozesse vernachlässigbar klein ist. (Man bedenke, dass eine Versuchsperson bei 20 Spielen - etwa 5 Stunden Spieldauer - ungefähr $6 \times 20 = 120$ Spielzüge ausführt.)

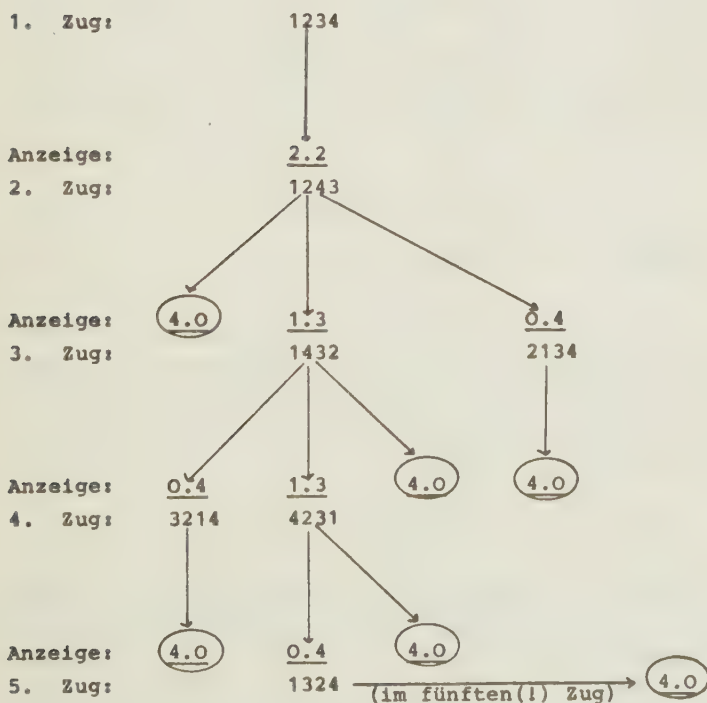


Abb. 6: Verzweigungsstruktur bei der Anzeige '2.2' nach dem ersten Zug, systemtheoretisch optimal

3.6. Informationsgehalt der Anzeigen in der Anfangsphase

Wie in Kapitel 3.5.2. erläutert, ändert sich das Problemlösungsverhalten im Verlauf eines Spieles grundlegend. In diesem Kapitel (3.6.) und dem folgenden (3.7.) steht die Frage im Vordergrund, wie sich damit der Informationsgehalt der einzelnen (identischen) Anzeigen für den Problemlösungsprozess zwischen Anfangsphase (Suchraumeinschränkung) und der Endphase (= Kombinationsphase) ändert.

In der Anfangsphase kann der Informationsgehalt IG der einzelnen Anzeigen (bei stochastisch unabhängig erfolgenden Zügen; vgl. Kap. 3.5.1) informationstheoretisch als negativer Logarithmus dualis¹ ihrer Auftretenswahrscheinlichkeiten berechnet werden (vgl. z.B. Klix (73), Mittenecker u. Raab (73)), die der Tab. 1 entnommen werden:

$$(22) \quad IG = -\lg w(\text{Anzeige}) \quad .$$

Die Einheit von IG ist das 'bit'.

Zur Normierung wird das Auftreten der Anzeige '4.0' (als absolute Gewissheit über das gesuchte Element) mit 100% angesetzt und der relative 'objektive' Informationsgehalt oIG (in Abgrenzung zum subjektiven Informationsgehalt sIG; vgl. Kap. 5.2.2.) berechnet:

$$(23) \quad oIG = \frac{IG}{11,56} \times 100\% \quad 2$$

Die Auftretenswahrscheinlichkeit, IG und oIG der einzelnen Anzeigen (in der bzw. für die Anfangsphase) sind in Tab. 2 angegeben.

¹Anm.: Die duale Basis wird aufgrund eines einheitlichen, informationstheoretischen Sprachgebrauches gewählt; die Einheit des Informationsgehaltes IG (22) ist das 'bit'.

²Anm.: $11,56 = -\lg(1/3024)$

Tabelle 2: Informationsgehalt der Anzeigen
für die Anfangsphase

<u>Anzeige</u> <u>(M.N)</u>	<u>w(M.N)</u> <u>(%)</u>	<u>IG (bit)</u>	<u>oIG (%)</u>
0.2	27,78	1,85	16,0
0.1	23,81	2,07	17,9
1.1	15,87	2,66	23,0
1.0	7,94	3,66	31,7
0.3	7,28	3,78	32,7
1.2	5,95	4,07	35,2
0.0	3,97	4,66	40,3
2.0	3,97	4,66	40,3
2.1	1,98	5,66	49,0
3.0	0,66	7,24	62,6
0.4	0,30	8,39	72,6
1.3	0,26	8,56	74,0
2.2	0,20	8,98	77,7
4.0	0,03	11,56	100

Der mittlere Informationsgehalt der Anzeigen in der Suchphase ergibt sich mit

$$(24) \quad H(x) = - \sum w(x) \lg(w(x))$$

aus Tab. 2 zu

$$H(x) = 2,834 \quad .$$

Mit dem maximal übermittelbaren Informationsgehalt bei gleicher Anzahl von Elementen in den durch die Anzeigen selektierten Teilmengen von A_0 (Gleichverteilung)

$$\lg(14) = 3,807$$

folgt für die Redundanz der Anzeigen in Kodebrecher:

$$R = |H(x) - \lg(14)| \quad ,$$

$$R = 0,973 \quad ;$$

und damit für ihre relative Redundanz:

$$R/\lg(14) = 0,2556 \quad .$$

Wäre das Problemlösungsverhalten rein informationstheoretisch beschreibbar, so würde der in diesem Sinne vorgehende Problemlöser die gesuchte Geheimzahl nach $n = 6$ Zügen bestimmt haben, was man folgender Abbruchbedingung für n entnimmt:

$$(R/\lg(14))^n \stackrel{!}{=} 1/3024 \quad \text{ergibt als Lösung:}$$

$$(0,2556)^6 = 0,028\% \quad 1/3024 = 0,033\% \quad (0,2556)^5 = 0,109\%.$$

(Bei dieser Berechnung wird eine Änderung der Übergangswahrscheinlichkeiten nicht berücksichtigt und eine elementare Markoffkettenbildung angenommen, die aber hier nicht gegeben ist. Vgl. Kap. 3.4.2., 3.5. und 5.1.1.)

Die Varianz der Informationsgehalte $s^2(\text{IG})$ lässt sich nach Kreyszig (74) folgendermassen berechnen:

$$(25) \quad s^2(\text{IG}) = \sum_{\text{IG}} (\text{IG} - H(x))^2 w(\text{IG}) \quad .^1$$

Mit den Werten aus Tab. 2 ($w(\text{IG})$ ist die Autretenswahrscheinlichkeit der Anzeige 'M.N' mit dem Informationsgehalt IG: $w(\text{M.N})$) ergibt sich für die Standardabweichung $s_1(\text{IG})$, wenn jeder Zug einzeln betrachtet wird:

$$s_1(\text{IG}) = 1,20 \quad .$$

Bei durchschnittlich drei stochastisch unabhängig voneinander erfolgenden Zügen in der Anfangsphase (vgl. Versuchsauswertung) lässt sich die Standardabweichung $s_3(\overline{\text{IG}})$ der mittleren Informationsdichte elementar aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz berechnen (vgl. z.B. Hardtwig (74): Fehler- und Ausgleichsrechnung. S. 21 ff.), da eine gleichbleibende Fehlerverteilung vorausgesetzt wird:

$$(26) \quad s_3(\overline{\text{IG}}) = \sqrt{3}/3 \times s_1(\text{IG}) \quad ;$$

$$s_3(\overline{\text{IG}}) = 0,70 \quad .$$

¹Kreyszig, Erwin: Statistische Methoden und ihre Anwendung. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1974. S. 48 u. S. 45

3.7. Informationsgehalt der Anzeigen in der Endphase

Während ein auf informationstheoretischer Basis vorgehendes elektronisches Datenverarbeitungssystem durch Suchraumeinschränkung über die Schnittmengenbildung (vgl. Kap. 3.5.1.) im Mittel $n = 6$ Züge zur Lösung des Problems benötigt (vgl. Kap. 3.6.), löst eine hochgeübte Versuchsperson das in Kodebrecher gestellte Interpolationsproblem irredundant ($u = 0$; vgl. Kap. 3.5.3.) schon nach durchschnittlich $n = 5$ Schritten. Der Problemlöser bildet folglich nicht ausschliesslich Schnittmengen (vgl. Kap. 3.5.2. ; z.B. nach dem "Modell der 'Zwanzig Fragen'"¹ von Attneave (65)), sondern schränkt den Suchraum noch zusätzlich ein (vgl. Kap. 3.4.2.); dieser kognitive Informationsverarbeitungsmechanismus wird in Anlehnung an Kap. 3.5.4. mit 'Kombinationsfähigkeit' bezeichnet.

In der Endphase des Problemlösungsprozesses bei Kodebrecher ist der Suchraum aufgrund der über ihn im Protokollbogen vorliegenden Information bereits stark eingeschränkt. An die Stelle der Schnittmengenbildung (Einengung des Suchraumes bei gleichzeitiger Erniedrigung der Unsicherheit über das gesuchte Element; vgl. Abb 5b) tritt eine kognitive Informationsverwertungstechnik der Art, dass der Problemlöser aufgrund der vorliegenden, komplexen Information (vgl. Abb. 5a) die gesuchte Geheimzahl mit Hilfe kombinatorischer Gesetzmässigkeiten zu bestimmen sucht.

In der Kombinationsphase der Informationsverwertung besitzen identische Anzeigen einen anderen Informationswert für den Problemlöser als in der Anfangsphase der Suchraumeinschränkung. Damit ist dieselbe Anzeige (in der Anfangsphase) von grundsätzlich anderer Qualität für die Informationsverwertungsphase (Endphase) als für die Informationsgewinnungs-

¹Attneave, Fred: Informationstheorie in der Psychologie. Huber Verlag, Bern 1965. S. 17 u. 18

phase. Zum Beispiel vermittelt die Anzeige '0.0', die in der Anfangsphase erscheint (nach Tab. 2 mit $IG = 4,66$ bit für die Anfangsphase) keinerlei Information über die Stellung der Ziffern für die Endphase des Problemlösungsprozesses.

In Tab. 3 ist der Algorithmus zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit w_e (in der Endphase) angegeben, bei vorliegender Anzeige (samt Zug) durch optimale Verwertung der sich aus ihr ergebenden Information über die Stellung der Ziffern, jeweils genau eine Ziffer des betreffenden Zuges an die richtige Stelle zu setzen.

w_e ist bis auf den Faktor $3 \times 4 = 12$ identisch mit dem auch in Tab. 3 wiedergegebenen (unnormierten) Mass KIG des Informationsgehaltes einer Anzeige für die Endphase aufgrund von Kombination; KIG wird als Summe der folgendermassen gewichteten Anzeigenelemente berechnet:

Ziffer vor dem Komma: Wichtungsfaktor 3 ;

Ziffer nach dem Komma: Wichtungsfaktor 1 .

Die Addition dieser gewichteten Grössen lässt sich elementar verstehen. Zur Frage der Wichtung bedeutet die Anzeige '1.0' z.B. (für die Kombinationsphase der Informationsverwertung), dass eine Ziffer an der richtigen Stelle steht. (Die Wahrscheinlichkeit w_e , diese Ziffer nur aufgrund dieser Information richtig zu 'erraten', beträgt $w_e = 1/4$.) Die Anzeige '0.1' sagt demgegenüber aus, dass eine Ziffer des betreffenden Zuges sich an der falschen Stelle befindet, was identisch ist mit der Aussage, dass für diese Ziffer die restlichen 3 Stellen (der vierziffrigen Zahl) als richtiger Standort verbleiben. ($w_e(0.1)$ beträgt somit $1/4$ (richtige Zahl) $\times 1/3$ (richtige Stelle) $= 1/12$.) Damit beträgt der Aussagewert der Anzeige '1.0' für die Endphase das dreifache dessen der Anzeige '0.1'.

Tabelle 3: Informationsgehalt der Anzeigen
für die Endphase

<u>Anzeige</u> <u>(M.N)</u>	<u>KIG</u>	<u>w_e(M.N)</u>	<u>oKIG (1)</u>
0.0	0	0	= 0
0.1	1	1/(3x4)	= 8,3
0.2	2	2/(3x4)	= 16,7
1.0	3x1	1/4	= 25,0
0.3	3	3/(3x4)	= 25,0
0.4	4	4/(3x4)	= 33,3
1.1	3x1 + 1	1/4 + 1/12	= 33,3
1.2	3x1 + 2	1/4 + 1/6	= 41,7
2.0	3x2	1/2	= 50,0
1.3	3x1 + 3	1/4 + 1/4	= 50,0
2.1	3x2 + 1	1/2 + 1/12	= 58,3
2.2	3x2 + 2	1/2 + 1/6	= 66,7
3.0	3x3	3/4	= 75,0
4.0	3x4	1	=100

Im folgenden wird w_e mit 'objektivem Informationsgehalt aufgrund von Kombination' bezeichnet: oKIG (in Abgrenzung zum 'subjektiven Informationsgehalt aufgrund von Kombination': sKIG). (Vgl. auch Kap. 3.6.)

Der mittlere Informationsgehalt der einzelnen Anzeigen für die Kombinationsphase bei stochastisch unabhängig voneinander erfolgenden Zügen ergibt sich analog zu (24) mit

$$(27) \quad I(x) = \sum w(x) KIG(x)$$

aus Tab. 1 ($w(x)$) und Tab. 2 ($KIG(x)$) zu

$$I(x) = 2,667 \quad .$$

Bei stochastisch unabhängig erfolgenden Zügen ist also die Informationsdichte (Entropie) $H(x)$ für die Suchphase (vgl. (27)) praktisch (bis auf 6%) ebenso gross wie die (unnormierte) Informationsdichte $I(x)$ für die Kombinationsphase (vgl. (25)).

Analog zu (25) berechnet sich die Varianz der Informationsgehalte $s^2(KIG)$ nach Tab 3 zu

$$s^2(KIG) = 3,00 \quad ;$$

damit für die Standardabweichung:

$$s_1(KIG) = 1,73 \quad .$$

Nach den Überlegungen in Kap. 3.6. (vgl. (26)) ergibt sich für die Standardabweichung $s_3(\overline{KIG})$ der mittleren Informationsdichte bei drei stochastisch unabhängig voneinander erfolgenden Zügen:

$$s_3(\overline{KIG}) = 1.00 \quad .$$

4. Versuchsdurchführung

Die in dieser Arbeit vorgestellte, auf einem Taschenrechner programmierte Form von Kodebrecher ist auch unter der Bezeichnung "Master Mind" oder "Grosshirn" als Brettspiel im Handel. In jener Version gibt ein Mitspieler die entsprechende Rückmeldung zu den jeweiligen Zügen des Problemlösers.

4.1. Zum semantischen Aspekt bei Kodebrecher

Nach Kap. 3.1. kommuniziert der Problemlöser mit einem Taschenrechner in der vom (programmierten) Algorithmus geforderten Sprache (vgl. Abb. 3). Dazu muss ihm (zumindest teilweise) das vorgegebene Zeichenrepertoire wie auch der Bedeutungsinhalt der einzelnen Zeichen bekannt sein.

Bei der Einweisung in das Problemlösungsspiel Kodebrecher haben wir es also zunächst mit der Überwindung einer sprachlichen Kommunikationsbarriere zwischen der Versuchsperson und dem Taschenrechner zu tun, wobei besonders der semantische Aspekt zu beachten ist. Ich schliesse mich hier der strukturalistischen Auffassung von Saussure (67) an, der unter Zeichen das durch die assoziative Verbindung einer Bezeichnung mit einem Bezeichneten erzeugte Ganze versteht;¹ Saussure führt dazu aus:

"Das Band, welches das Bezeichnete mit der Bezeichnung verknüpft, ist beliebig."²

¹ Saussure, Ferdinand de: Grundfragen der allgemeinen Sprachwissenschaft. De Gruyter Verlag, Berlin 1967, S. 79

² ebd., S. 79

Von dieser Auffassung zur Natur des sprachlichen Zeichens ausgehend (vgl. Ach (69): Begriffsbildung und Suchmethode), besteht die Aufgabe des Versuchsleiters bei der Einweisung in das Problemlösungsspiel Kodebrecher darin, die Assoziation zwischen Bezeichnetem und Bezeichnung möglichst fest zu knüpfen. Aus informationstheoretischer Sicht muss die vom Problemlöser empfangene (verschlüsselte) Nachricht des Taschenrechners (Informationsoutput des Rechners IO_R in Abb. 3) ('Bezeichnung' bei Saussure (67)) möglichst irredundant dekodiert werden, um ihren Informationsgehalt ('Bezeichnetes' bei Saussure) optimal zu erfassen. (Vgl. Klix (73); siehe auch Kap. 3.1. u. 3.3.)

Semantisch wie informationstheoretisch gesehen ist damit zum Studium kognitiver Informationsverarbeitungsprozesse neben den in Kap. 3.1. erörterten Bedingungen zu fordern, dass Bezeichnung wie Bezeichnetes (Nachricht und Information) für die jeweilige Versuchsperson eindeutig, klar und einfach definiert und - perzeptiv wie kognitiv - zu erfassen sind; des weiteren muss die assoziative Verknüpfung zwischen Bezeichnetem und Bezeichnung elementar herstellbar sein, damit durch den kognitiven Dekodierungsprozess keine Fehlinterpretation der empfangenen (verschlüsselten) Nachricht auftritt, die das Problemlösungsverhalten (wie es in dieser Arbeit untersucht wird) negativ beeinflussen würde.

Für die Kommunikation (den Austausch von Nachrichten) zwischen zwei Informationsverarbeitungssystemen können der strukturalistischen Auffassung nach geeignete Sprachen mit einem (an sich) beliebigen Zeichenrepertoire gewählt werden.¹ Bei dem Problemlösungsspiel Kodebrecher sind die oben genannten Forderungen vollständig erfüllt: Die Versuchsperson nimmt nach kurzer Eingewöhnungszeit den Rechneroutput als Zeichen (mit seinem Bedeutungsinhalt) eindeutig wahr.

¹ Anm.: Beachtet man die grosse Verwandtschaft zwischen Denken und Sprache (vgl. z.B. Schaff (64): Sprache und Erkenntnis), ergibt sich hier eine Verbindung zu den in Kap. 2.1. u. 2.2. erörterten Auffassungen des Denkens: Nach Kap. 2.5. sind aus systemtheoretischer Sicht alle Algorithmen äquivalent, die das betreffende Phänomen adäquat beschreiben - das Geschehen ist zwar 'objektiv' (vgl. Kap. 1.) das gleiche, die (beschreibende) Sprache jedoch eine andere.

4.2. Zum operationalen Aspekt bei der Bedienung des Taschenrechners

Der (programmierte) Algorithmus des Problemlösungsspiels Kodebrecher erfordert vom Benutzer des Rechners während eines Spiels den Gebrauch folgender Tasten:

1. Die Ziffern 1 bis 9 (in einem 3 x 3 - Feld) ,
2. run/stop ('R/S') (links unten) ,
3. clear ('CLR') (rechts oben, gelb)
- falls erforderlich - .

Zur Erzeugung einer neuen Geheimzahl (rechnerinter) wird die Taste 'A' (links oben) gedrückt.

Die Funktion der Tasten '1' bis '9' ist sofort einleuchtend, und die der Taste 'CLR' wird den Versuchspersonen durch Löschen der Anzeige im Display demonstriert. Die Taste 'R/S' stellt der Versuchsleiter als dasjenige Bedienungselement vor, das den Taschenrechner anweist, die eingetastete Ziffernfolge auszuwerten. Die Funktion der Taste 'R/S' wird vorgeführt, und es wird darauf verwiesen, dass während des Rechenganges links im Display des Rechners die Anzeige 'C' - englisch: 'Compute' - aufleuchtet, die nach seiner Beendigung wieder erlischt.

Auf diese Weise wird der Problemlöser mit der benötigten Tastatur (bis auf 'A') vertraut gemacht, und die Einweisung in das eigentliche Spiel kann erfolgen.

4.3.

Versuchsanweisung

Kodebrecher wird als Spiel (1) vorgestellt, in dem eine vierstellige Geheimzahl bestimmt werden soll, die ein Taschenrechner intern erzeugt hat. Eine eventuell vorhandene Spielerfahrung mit der Brettversion 'Grosshirn' oder 'Master Mind' wird kurz diskutiert und auf die Äquivalenz von 'Farbe' (bei den Brettspielen) und 'Ziffer' (bei Kodebrecher) in diesen Informationsverarbeitungsspielen hingewiesen.

Dem Problemlöser wird folgender Handzettel als Gedächtnisstütze schriftlich vorgelegt:

EINGABE: 4 verschiedene Ziffern von 1 - 9 .

Keine '0' ! Keine Ziffer doppelt!

AUSGABE: Ziffer vor Punkt: Anzahl der eingegebenen Ziffern an der richtigen Stelle

Ziffer nach Punkt: Anzahl der eingegebenen Ziffern an der falschen Stelle

NEUES SPIEL: Drücken der Taste 'A'

Um die Versuchsperson sowohl mit der Bedienung des Rechners, den erlaubten Operationen als auch mit dem Bedeutungsinhalt der Rückmeldungen des Rechners vertraut zu machen, wird mit ihr zusammen das umseitig angeführte Standardspiel durchgeführt. Dabei wird die Bedienung des Taschenrechners erläutert und von der Versuchsperson geübt (vgl. Kap. 4.2.) und die Kombination des jeweiligen Zuges mit der Anzeige ausführlich besprochen, bis die Anzeige Zeichencharakter im Sinne von Kap. 4.1. gewinnt.

<u>Eingabe</u>	<u>Taste</u>	<u>Anzeige</u>
1234	R/S	0.1
5678	R/S	2.1
9238	R/S	1.0
5694	R/S	1.0
5198	R/S	2.1
5718	R/S	4.0

Zur Kontrolle der Vertrautheit der Versuchsperson mit dem Taschenrechner (und zur Einführung der Protokollbögen) notiert die Versuchsperson ihre Eingabe und die erwartete Anzeige auf einem DIN-A-3-Blatt, tastet den Zug ein und vergleicht die Anzeige im Display mit der erwarteten. Fehler (bei der Eingabe oder Bedienung des Rechners) und auftretende Schwierigkeiten und Missverständnisse (bei der Interpretation der Anzeigen) werden mit der Versuchsperson diskutiert, bis es ihr gelingt, ohne fremde Hilfe drei Züge hintereinander richtig zu protokollieren und einzutasten.

Anschliessend wird durch Drücken der Taste 'A' von der Versuchsperson über das interne Rechnerprogramm eine neue vierstellige Geheimzahl erzeugt.

Im Protokollbogen notiert die Versuchsperson zunächst ihren ersten Zug (die vierziffrige Zahlenfolge) und dann den im Display erscheinenden Output des Rechners. Dieser wird mit dem Versuchsleiter ausschliesslich nach der Bedeutung der Ziffern vor und nach dem Komma diskutiert; das gleiche geschieht mit dem zweiten, dritten und weiteren Zügen, wobei sich der Versuchsleiter immer mehr zurückzieht und sich so aus dem Problemlösungsverhalten ausblendet.

Der Versuchsleiter schaltet sich erst dann wieder ein, wenn die Versuchsperson die richtige Ziffernfolge gefunden hat (d.h. es erscheint die Anzeige '4.0' im Display), kontrolliert den Protokollbogen, weist auf evt. vorhandene Fehleingaben hin und bespricht anstehende Unklarheiten.

Dann wird die Versuchsperson gebeten, eine '1' vor dieses erste Spiel zu schreiben und auch die folgenden Spiele fortlaufend zu numerieren. Falls sie meine, gut in dem ersten Spiel gewesen zu sein, möge sie ein '+' hinter das Spiel setzen, bei zufriedenstellendem Verlauf ein 'o' und bei Unzufriedenheit mit der eigenen Leistung ein '-' (oder dem Spielverlauf einfach eine Zensur wie in der Schule zu geben) und bei künftigen Spielen ebenso zu verfahren.

Die folgenden Spiele können die Versuchspersonen i.a. ohne fremde Hilfe ausführen und die Protokollbögen entsprechend ausfüllen. Der Versuchsleiter (im Hintergrund) dient nur noch als Anlaufstelle für evt. aufkommende, momentane Schwierigkeiten.

Nach etwa 3 bis 4 (erfolgreichen) Spielen kann der Taschenrechner von den Versuchspersonen mit nach Hause genommen werden, die dort selbst weiterspielen und auch Bekannte (mit Hilfe des Handzettels) in die für Kodebrecher erforderliche Bedienung des Taschenrechners einweisen können.

Zusammenfassend gesagt erfordert die Einweisung in Kodebrecher im wesentlichen eine **einfühlende**, sukzessive Anleitung durch den Versuchsleiter, damit die Aufnahmekapazität der jeweiligen Versuchsperson weder über- noch unterfordert wird.

4.3.1.

4.3.1. Subjektiver Informationsgehalt
 und subjektive Wahrscheinlichkeit

Um im Rahmen der Fragestellung von Kap. 0.2. grundlegende Aspekte der Beziehungen zwischen objektiven und subjektiven Wahrscheinlichkeiten und Informationsgehalten unter experimentell genau kontrollierten Bedingungen näher zu erforschen, wird dem Problemlöser am Ende (und teilweise auch am Anfang und/oder in der Mitte) seiner Spielserie die in Tab. 4 aufgelistete Reihenfolge der möglichen Anzeigen mit folgender Anweisung vorgelegt:

"Stellen Sie sich bitte vor, Sie erhielten eine dieser Anzeigen nach dem ersten Zug. Welche von ihnen hat den grössten Informationswert für Sie? Ordnen Sie bitte diese Anzeigen ihrem Informationsgehalt nach an. Natürlich muss die Anzeige '4.0' den ersten Platz erhalten. Sie müssen sich dabei vorstellen, dass die Anzeigen ganz am Anfang des Spieles stehen, also unmittelbar nach dem ersten Zug erscheinen."

Tabelle 4: Liste der möglichen Anzeigen

0.4
1.3
2.2
4.0
0.3
1.2
2.1
3.0
0.2
1.1
2.0
0.1
1.0
0.0

Anschliessend wird der Problemlöser gebeten, anhand der von ihm erstellten Rangreihe den einzelnen Anzeigen einen subjektiven prozentualen Informationsgehalt zuzuordnen, der ihnen als jeweils erste Anzeige eines jeden Spieles zukommt. Zu diesem Zweck wird der ranghöchsten Anzeige '4.0' zunächst der Wert '100%' (d.h. totale, vollständige Information) zugewiesen.

Der Problemlöser fängt mit der Beurteilung des Informationsgehaltes bei der rangniedrigsten (!) Anzeige an; die sich im unteren Drittel der Rangreihe befindenden Anzeigen werden meist auch als die mit der grössten subjektiv empfundenen Unsicherheit behafteten Werte angegeben.

Nach der Einschätzung der fünf rangniedrigsten Anzeigen wird die '100%' bei der Anzeige '4.0' demonstrativ dick durchgestrichen und der Versuchsperson mitgeteilt, dass es überhaupt nicht darauf ankäme, das 'Ziel' 100% zu erreichen. Sie könne ruhig weit darüber hinausgehen oder auch darunter bleiben. Die 100% hätten nur als ein ungefährer Anhaltspunkt gedient. Manche Problemlöser hätten die '4.0' mit über 1000% beurteilt. Da die Einschätzungen der Versuchsperson verrechnet werden, sei es nur wichtig, dass die prozentuale Bewertung der ranghöheren Anzeige aufgrund der bereits erfolgten Einschätzung der jeweils rangniedrigeren Anzeigen erfolge.

Darauf hin erkundigt sich der Versuchsleiter, um welchen Faktor der Informationsgehalt der zuletzt bewerteten Anzeige (5.) für den Problemlöser grösser ist als der der rangniedrigsten. Treten starke Diskrepanzen zur prozentualen Einschätzung auf, wird überprüft, ob sich die Versuchsperson ihres mathematischen Bedeutungsinhaltes bewusst ist und eine adäquate prozentuale Bewertung überhaupt (mathematisch) vornehmen kann.

Für diesen Fall wird der Problemlöser gebeten, von der prozentualen Einschätzung Abstand zu nehmen und anzugeben, um welchen Faktor seiner Ansicht nach der Informationsgehalt der ranghöher bewerteten Anzeige grösser sei als der der vorangegangenen. Ist auch dieses verhältnis-mässige Vorgehen der Versuchsperson nicht möglich, werden die Schwierigkeiten kurz diskutiert und die quantitative Abschätzung des Informationsgehaltes abgebrochen. (Manche Versuchspersonen krempeln die vorher erstellte Rangreihe total um und können sich zu keiner Entscheidung durchringen, ihre Unsicherheit über den Informationswert der einzelnen Anzeigen wächst laufend weiter an, der divergente Charakter der Einschätzung überwiegt bei weitem. Andere wiederum markieren einzelne Anzeigen mit einem Informationsgehalt zwischen 1% und 100% und versuchen, mit Hilfe dieser Anker den Informationsgehalt der jeweiligen Anzeigen innerhalb des betreffenden Intervalls festzulegen.)

Während der Erstellung der Rangreihen wie auch bei der Einschätzung des Informationsgehaltes der einzelnen Anzeigen wird vom Versuchsleiter eine weitgehend spannungsfreie Atmosphäre geschaffen, die es der Versuchsperson ermöglichen soll, uneingeschränkt über ihre Bewertung zu reflektieren und diese ihren Vorstellungen entsprechend optimal anzupassen. Eine Korrektur ist während des Einschätzungsprozesses jederzeit möglich, und die Reflexionen des Problemlösers über seine Einschätzungen werden vom Versuchsleiter fördernd paraphrasiert und in geeigneter Form widergespiegelt.

Abschliessend wird die Versuchsperson befragt, bei welchen Bewertungen sie sich besonders sicher und bei welchen sie sich relativ unsicher fühlt.

5. Versuchsauswertung und Interpretation

In der vorliegenden Arbeit wird menschliches Problemlösungsverhalten in der fest umrissenen Situation (vgl. Kap. 4.3.) des Spieles Kodebrecher systemtheoretisch untersucht. Wiederholt wird ein und dieselbe Versuchsperson vor die gleiche Interpolationsbarriere gestellt und ihr Problemlösungsverhalten registriert. Im Gegensatz zu den meisten Problemlösungsspielen (z.B. "Turm von Hanoi") erweist sich Kodebrecher als weitaus komplexer und kann - anders als z.B. beim Schach - auf einfache Weise beschrieben werden (vgl. Kap. 3.5.); das Problemlösungsverhalten kann generell an einer Versuchsperson experimentell erfasst werden, die innerhalb einer Spielserie das ihr gestellte Problem mehrfach löst, wobei Lerneffekte, Ermüdungserscheinungen etc. berücksichtigt werden müssen.

Damit schliesse ich mich der allgemeinpsychologischen wissenschaftstheoretischen Auffassung von Lewin (67) an, der im Jahre 1927 in seinem Aufsatz "Gesetz und Experiment in der Psychologie" folgendes schrieb:

"Als Grundlage für die Beschreibung eines Typus genügt im Prinzip 1 Exemplar. Es wäre sinnlos, verschiedene Vertreter desselben Typus zum Beweise der Richtigkeit der Beschreibung des betr. Typus heranziehen zu wollen, da ja 'ein solcher Typus' lediglich durch das 'Sosein' des betr. Gebildes definiert ist. Die Aussage: 'ein anderer Vertreter desselben Typus hat dieselben Eigenschaften' ist also eine Tautologie."

Bei Kodebrecher löst ein und dieselbe Versuchsperson das gleiche Problem sukzessiv mehrere Male. Damit kann eine statistische Mittelwertbildung über mehrere Problemlöser (oder verschiedene Items) vermieden werden, und die relevanten Personenparameter werden direkt quantitativ eingeschätzt.

¹ Lewin, Kurt: Gesetz und Experiment in der Psychologie. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1967. S. 18

Die in dieser Arbeit vorgestellte Versuchspersonengruppe entstammt überwiegend dem Hochschulbereich. Die Untersuchung des Problemlösungsverhaltens bei Kodebrecher in der hier vorliegenden, auf einem Taschenrechner programmierten Version, beschränkt sich allerdings nicht auf diese Population, sondern ist grundsätzlich bei fast allen Bevölkerungsschichten ab etwa 12 - 14 Jahren möglich; auf eine Darstellung dieser Ergebnisse wird aus Gründen der Übersichtlichkeit an dieser Stelle verzichtet.

In folgender Tab. 5 sind die Versuchspersonen ihrem Alter nach aufgelistet und das Geschlecht, etwaige Spielerfahrung mit einer Brettversion von Kodebrecher (Spielerf.), Anzahl der durchgeführten Spiele Kodebrecher (Spiele) sowie ihre Studienrichtung aufgeführt.

Tabelle 5: Versuchspersonen

Nr.	Alter	Geschl.	Spielerf.	Spiele	Studienrichtung
1	11	w	nein	11	Schülerin: Gymnasium
2	20	w	ja	10	Germanistik/ Geschichte
3	22	w	nein	200	Biologie/ Germanistik
4	28	m	nein	18	Physik/ Psychologie
5	32	m	ja	20	Psychologie
6	32	m	nein	100	Physik/ Psychologie
7	32	m	ja	10	Psychologie
8	33	w	ja	20	Psychologie

5.1. Das Problemlösungsverhalten bei Kodebrecher

Das innere Abbild eines kognitiven Problemlösungsprozesses ist i. allg. einer Fremdbeobachtung nicht direkt zugänglich (vgl. Kap. 1.), sondern kann nur mittelbar (nach interner Umsetzung in das Medium 'Sprache') erschlossen werden - ein mehrstufiger Kodierungs- und Dekodierungsprozess. Liegt dabei das untersuchte Problemlösungsverhalten ausserhalb des gewohnten Erfahrungsbereiches, können die angewendeten Strategien und Heuristiken (vgl. Kap. 2.5.) nicht mit gebräuchlichen Begriffen bezeichnet werden; meist fehlt es schon an passenden Wörtern. (Zum semantischen Aspekt und der Verwendung des Begriffs 'Zeichen' vgl. Kap. 4.1.)

Bei einer Nachexploration zum Problemlösungsverhalten muss dieses (und die dabei ablaufenden kognitiven Vorgänge) allerdings verbalisiert und rational dargestellt werden. Das sich hieraus ergebende Dilemma bei der retrospektiven Erstellung zeitlicher Gewohnheitshierarchien (vgl. Kap. 2.1. und 2.2.) führt zu einer von Person zu Person abweichenden Beschreibung des tatsächlich ausgeführten Problemlösungsverhaltens, bei dem auch der Sprachgebrauch individuell stark differieren kann. Ein solches Phänomen lässt jedoch nicht den Rückschluss auf eine grundsätzlich andere Art der realen Problembewältigung zu.

Die für eine Fremdbeobachtung wichtige, weitgehende Kontrolle der psychologischen Umwelt der Versuchsperson (vgl. Kap. 1.4.) ist nicht gewährleistet. Das innere, subjektive Abbild der äusseren Problemstruktur hat sich während der jeweiligen Problemlösungsprozesse ausgebildet; seine Entstehung und die innerorganismischen Vorstellungen zur Bewältigung und Überwindung des Problemzustandes entziehen sich somit jedem unmittelbaren Zugriff. Das bestehende

subjektive Abbild, von dem ein gewisser Aspekt in der Nachexploration erfasst wird, dient vielmehr einer nachträglichen, gedächtnismäßigen 'Erklärung' von kognitiven Phänomenen, die bei seiner Etablierung (gefühlsmäßig) erlebt wurden (z.B. die Mechanismen 'Verkettung und Vernetzung' aus behavioristischer oder 'plötzliche Reorganisation' aus gestalttheoretischer Sicht - vgl. Kap. 2.1 und 2.2).

Prinzipiell wäre es zwar möglich, kontinuierlich während des Problembewältigungsprozesses zu hinterfragen, was und wie die Versuchsperson denkt, doch schon die kurzen Ausführungen in Kap. 2.3. und 2.5. geben einen Einblick in die hohe Komplexität menschlichen Denkens, die ein solches Unterfangen schon wegen des Umfanges der zu erfassenden Parameter scheitern lassen würde. Ausserdem ist nicht auszuschliessen, sondern im Gegenteil sehr wahrscheinlich, dass ein solcher Eingriff das Problemlösungsverhalten selbst stören würde (vgl. Claparède (69)). Insbesondere sei an dieser Stelle auf die Schwierigkeiten und die vielen, noch ungeklärten Fragen beim Übergang in den Bereich der Metasprache und des Metadenkens hingewiesen.

In diesem Kap. 5.1. sollen zunächst geeignete Maße vorgestellt werden, die es gestatten, das reale menschliche Problemlösungsverhalten bei Kodebrecher auf der Basis des mathematischen Modells von Kap. 3.5. - intersubjektiv gleichermaßen - systemtheoretisch zu erfassen, ohne den internen, kognitiven Informationsverarbeitungsmechanismus durch eine retrospektive Befragung über innerorganismische (subjektive) Gedankenabläufe, Vorstellungen etc. nachträglich erschliessen zu müssen. In den folgenden Kap. 5.1.1. bis 5.1.3. werden die dementsprechend aufbereiteten Daten aus den Rohwerten (das sind in diesem Fall die Protokollbögen - vgl. Kap. 4.3.) zeitlich sukzessiv aufeinanderfolgend als Verlaufsreihen graphisch dargestellt und mögliche Verfahren einer quantitativen Skalierung des untersuchten Problemlösungsverhaltens aufgezeigt.

Maßgeblich für die Wahl der Kenngrößen des Problemlösungsverhaltens sind (neben der Reliabilität und logischen Validität) folgende drei Kriterien: Einfachheit, Zugänglichkeit und (system- bzw. informationstheoretischer) Bedeutungsinhalt. Abgeleitete und miteinander verknüpfte Maße werden deshalb nicht eingeführt, weil sie zum jetzigen Zeitpunkt der Forschung weder zu interpretieren noch ausreichend zu validieren sein dürften.

Für das Problemlösungsspiel Kodebrecher lassen sich nach Kap. 3.5. drei systemimmanente Kategorien angeben, denen die verwendeten Maße entstammen:

1. Kategorie: Die Anzahl der Züge während eines Spiels oder einzelner Phasen wird gezählt.
2. Kategorie: Der kumulativ vermittelte Informationsgehalt (über die protokollierten Rückmeldungen des Rechners) wird für gewisse Spielabschnitte durch Summation total erfasst.
3. Kategorie: Die Informationsdichte oder Entropie wird in interessierenden Spielabschnitten und -phasen bestimmt.

Natürlich muss bei den informationstheoretischen Kenngrößen (aus der 2. oder 3. Kategorie) zwischen der Phase der Suchraumeinschränkung (vgl. Kap. 3.6.) und der Kombinationsphase (vgl. Kap. 3.7.) unterschieden werden. Eo ipso ist ein nicht unerheblicher Anteil der hier vorgestellten Maße miteinander korreliert, so z.B. die Anzahl der redundanten Züge ('u') mit der Gesamtzahl der benötigten Züge ('n') - vgl. auch Kap. 3.5.3. .

Die Maße der 1. Kategorie: 'u' (= Anzahl der redundanten Züge in der Übergangsphase), 'e' (= Anzahl der Züge in der Kombinationsphase) und auch 'n' (= Gesamtzahl der benötigten Schritte bis zur Bestimmung der Geheimzahl) sind zu-

sammenfassend schon in Kap. 3.5.4. auf S. 66 erläutert worden (vgl. auch das Beispiel in Kap. 3.5.5.). Je kleiner ihr Wert ist ($\min(u) = 0$ und $\min(e) = 1$ nach Definition in Kap. 3.5.3.), desto optimalere Strategien sind während des betreffenden Problemlösungsprozesses angewendet worden.

Im folgenden beschränken wir uns auf die Darstellung geeigneter Maße aus der 2. und 3. Kategorie.

A. Maße bzgl. der totalen Information: 'tI' und 'tIK'.

Die totale Information tI für die Suchraumeinschränkung bis zum Erreichen der Kombinationsphase wird durch Summation der einzelnen Informationsgehalte IG_i der jeweiligen Anzeigen i in der Anfangs- und Übergangsphase nach Tab. 2. in Kap. 3.6. ermittelt:

$$tI = \sum_{i=1}^{a+u} IG_i \quad ;$$

bei $u=0$ und $e \neq 1$ wird der Informationsgehalt der $(a+1)$ -ten Anzeige (zum Ausgleich) zur Hälfte mitberücksichtigt.

Mit dieser Kenngrösse wird die totale Information tI erfasst, die der betreffende Problemlöser benötigt, um den Suchraum für ihn überschaubar zu machen. Informationstheoretisch ergibt sich nach Glg. (20) in Kap. 3.5.3. ein unterer Wert

$$tI_{\min} = - \lg 0,5\% = 7,64 \text{ bit} \quad ,$$

der in die entsprechenden Abbildungen als gestrichelter Graph eingezeichnet ist. Je weiter die aus den Protokollbögen ermittelte Grösse tI über diesem Wert $tI_{\min} = 7,64 \text{ bit}$ liegt, desto redundanter ist die Suchraumeinschränkung in dem betreffenden Problemlösungsprozess verlaufen.

Die totale Information für die Kombinationsphase t_{IK} bis zur Bestimmung der gesuchten Geheimzahl wird durch Summation der einzelnen Informationsgehalte für die Kombinationsphase KIG_1 der jeweiligen Anzeigen 1 bis zum $(n-1)$ -ten Zug nach Tab. 3 in Kap. 3.7. ermittelt:

$$t_{IK} = \sum_{i=1}^{n-1} KIG_1 \quad .$$

Zur Abschätzung dieser Grösse wird für $(n-1) = 4$ stochastisch unabhängig angenommene Züge (in Näherung - vgl. Kap. 5.1.1.) nach Glg. (27) in Kap. 3.7. ein unterer Wert $t_{IK_{\min}} = 10,67$ berechnet, der in die entsprechenden Abbildungen als gestrichelte Gerade eingetragen ist. ($t_{IK_{\min}}$ kann wegen der systemtheoretischen Struktur des Spiels unterschritten werden.) Je weiter die aus den Protokollbögen ermittelte Kenngrösse t_{IK} über dem Wert $t_{IK_{\min}} = 10,67$ liegt, desto mehr Information über die Stellung der Ziffern in der Geheimzahl wird von dem betreffenden Problemlöser benötigt.

B. Maße bzgl. der Informationsdichte: 'ID' und 'IKD'.

Im Verlauf eines Problemlösungsprozesses steigt der Informationsgehalt der Rückmeldungen des Rechners an, sobald Heuristiken angewendet werden, die über eine Suchraumeinschränkung durch reine Schnittmengenbildung (vgl. Kap. 3.5.1.) hinausgehen. Mit Hilfe der - im folgenden einzeln aufgeführten - Informationsdichten lässt sich nun feststellen, in welchem Stadium des Problemlösungsprozesses diese effektiveren Strategien eingesetzt werden. In solchen Phasen muss nämlich der mittlere Informationsgehalt der (einzelnen) Anzeigen über die (für stochastisch unabhängige Ereignisse berechnete) Entropie $H(x) =$

2,83 bit nach Kap. 3.6. (für die Suchraumeinschränkung) bzw. den mittleren Informationsgehalt für die Kombinationsphase $I(x) = 2,67$ nach Kap. 3.7. ansteigen. (An dieser Stelle sei noch einmal auf die zu erwartende grosse Streuung in diesen Kenngrössen hingewiesen, die sich aus dem gequantelten Informationsoutput des Rechners ergibt - vgl. Tab. 1 in Kap. 3.4.1. .)

Die Informationsdichte stellt ein Maß für das aktive Einwirken der Versuchsperson (innerhalb ihres speziellen kognitiven Informationsverarbeitungssystems und -mechanismus) auf ihre Problembewältigung dar, indem sie kreativ während des Problemlösungsprozesses für die zeitlich nachfolgenden Züge zusätzliche Information beschafft, also nicht ausschliesslich bereits vorliegende Information verwertet. Mit dieser Kenngrösse wird so ein Aspekt der Fähigkeit zum vorausschauenden Planen erfaßt, die um so ausgeprägter ist, je früher (im jeweiligen Problemlösungsprozess) und je höher die betreffenden Informationsdichten über den Erwartungswert bei stochastischer Schnittmengenbildung ansteigen.

Im folgenden sind die untersuchten Informationsdichten zunächst für die Suchraumeinschränkung und anschliessend für die Kombinationsphase entsprechend dem Phasenmodell des Problemlösungsprozesses von Kap. 3.5.4. aufgelistet.

Informationsdichten bzgl. der Suchraumeinschränkung:

ID(a): In der Anfangsphase ;

ID(u): In der Übergangsphase ;

ID(a+u): Bis zum Erreichen der Endphase
(= $tI/(a+u)$) .

Informationsdichten bzgl. der Kombinationsphase:

IKD(a):	In der Anfangsphase	;
IKD(u):	In der Übergangsphase	;
IKD(a+u):	Bis zum Erreichen der Endphase	;
IKD(n-1):	Bis zur Bestimmung der gesuchten Geheimzahl (= $t_{IK}/(n-1)$)	.

Alle anderen noch möglichen, ähnlich wie die totale Information oder Informationsdichte zu definierenden, zusätzlichen Kenngrößen sind entweder redundant oder die Erfassung dieser Parameter erweist sich systemtheoretisch als unsinnig. (Man beachte zum Beispiel, dass $ID(a+u)$ das gewichtete Mittel von $ID(a)$ und $ID(u)$ darstellt.)

Die vorstehend definierten Maße aufgrund des systemtheoretischen Modells von Codebrecher werden im Rahmen des realen Problemlösungsverhaltens in den folgenden Kap. 5.1.1. bis 5.1.3. graphisch dargestellt und diskutiert.

5.1.1.

Die Maße bezüglich der Anzahl
der Züge: u, e und n

In Abb. 7 sind die Gesamtzahl n und die Anzahl u der redundanten Züge für die Versuchsperson Nr. 3 (künftig Vp.3) in einer Spielserie nach etwa 90 Spielen ohne äussere Rückmeldung über die Art und Qualität der angewandten Strategien wiedergegeben.

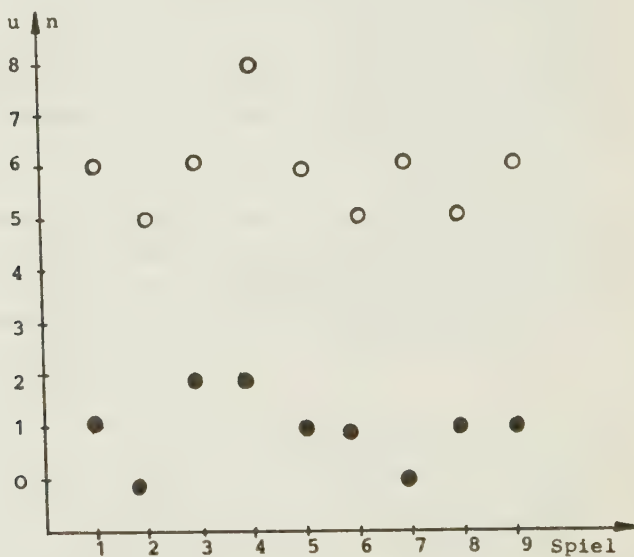


Abb. 7: Vp.3 nach 90 Spielen, n : o und u : •

Nach Abb. 7 benötigt Vp.3 etwa 6 Züge bis zur Lösung des Problems, von denen einer redundant ist.

Nach einer ausführlichen Diskussion der systemtheoretischen Lösungsstruktur des Zahlenratespiels Kodebrecher analog zu Kap. 3 über einen Zeitraum von zwei Wochen (ohne Spiele !) reduziert sich die benötigte Gesamtzahl n der Züge bis zur Bestimmung der Geheimzahl in der anschließenden Spielserie bei der Vp.3 durchschnittlich um 1, während gleichzeitig praktisch keine redundanten Züge ($u=0$) mehr auftreten. Die nach dieser Diskussion erfolgende Spielserie (in der Zug Nr. in direktem Anschluss an Abb. 7) ist in Abb. 8 dargestellt.

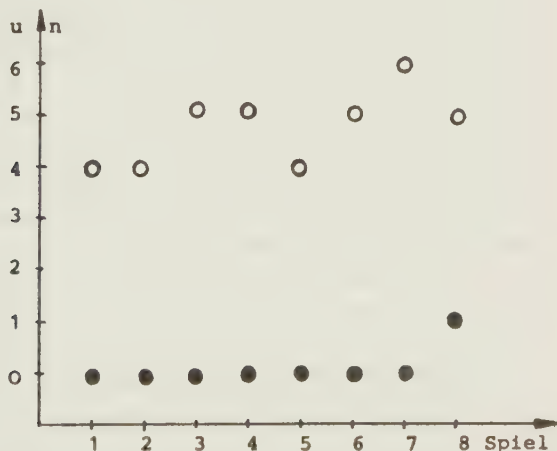


Abb. 8: Vp.3 nach 100 Spielen und Diskussion der Lösungsstruktur, n : o und u : •

Die Vp.3 benötigt in Abb. 8 etwa 5 Züge bis zur Lösung des Problems, von denen praktisch keiner redundant ist.

In Abb. 9 ist die Gesamtzahl n der benötigten Züge und die Anzahl der redundanten Züge u wiedergegeben, nachdem die Versuchsperson Nr. 3 ein Jahr lang nicht Kodebrecher gespielt hat (bedingt durch Examina).

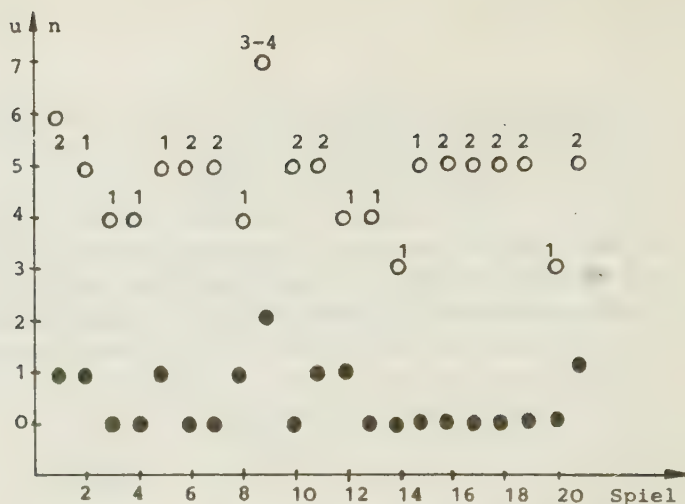


Abb. 9: Vp.3 nach 180 Spielen und einjähriger Pause, n: o und u: • ; Zahl = 'Zensur' nach 4.3.

Während die Vp.3 nach einjähriger Spielunterbrechung anfänglich (Spiel Nr. 1 - 10) noch durchschnittlich 22 Minuten je Spiel bis zur Bestimmung der Geheimzahl braucht, kommt sie zum Schluss der Spielserie (Spiel Nr. 12 - 21) meist mit weniger als 5 Minuten aus. Die Verteilung der Anzahl der redundanten Schritte ähnelt bis zum 12. Spiel derjenigen von Abb. 7; im weiteren Verlauf beträgt die Anzahl der redundanten Schritte praktisch $u = 0$ (vgl. Abb.8). Die schlechteste Spielbewertung mit der Zensur 3-4 (vgl. Kap. 4.3.) gibt die Vp.3 ihrem Spiel Nr. 9 in der Abb. 9; alle übrigen Bewertungen liegen zwischen '1' und '2' (je 10 mal), wobei eine fallende Tendenz (nach 2 hin) zum Ende der Spielserie hin zu beobachten ist. Alle Spiele mit weniger als 5 Zügen werden ohne Ausnahme mit '1' beurteilt; die Vp.3 gibt auf Befragen hin an, dass ihrer Ansicht nach das Interpolationsproblem in Codebrecher grundsätzlich mit $n = 4$ Zügen gelöst werden könne. Eine Korrelation zwischen der Beurteilung des Spieles durch die Vp.3 und der Anzahl der redundanten Züge besteht nach Abb. 9 nicht.

Die elfjährige Vp.1 spielt ein Knobelspiel, indem sie zunächst versucht, eine oder mehrere Ziffern an die richtige Stelle zu setzen, wie auch der abschliessenden Exploration zum Spielverhalten zu entnehmen ist; diese Strategie drückt sich vor allem in der Bewertung der einzelnen Anzeigen im Display des Rechners bezüglich ihres Informationsgehaltes nach dem ersten Zug aus (vgl. Kap. 5.2.). Der Prozess der Suchraumeinschränkung nach Kap. 3.5.1. tritt bei der Vp.1 allenfalls sporadisch bei entsprechend dieser Strategie ungünstig erscheinenden Anzeigen wie '0.0', '0.1' etc. auf, ansonsten befindet sich die Vp.1 mit ihrem Problemlösungsverhalten praktisch während der gesamten Spielserie in der Kombinationsphase nach Kap. 3.5.. Aus diesem Grund wird auf eine Gliederung des Problemlösungsprozesses analog zu Kap. 3.5.5. verzichtet und in Abb. 10 nur die Gesamtzahl n der benötigten Züge aufgetragen.

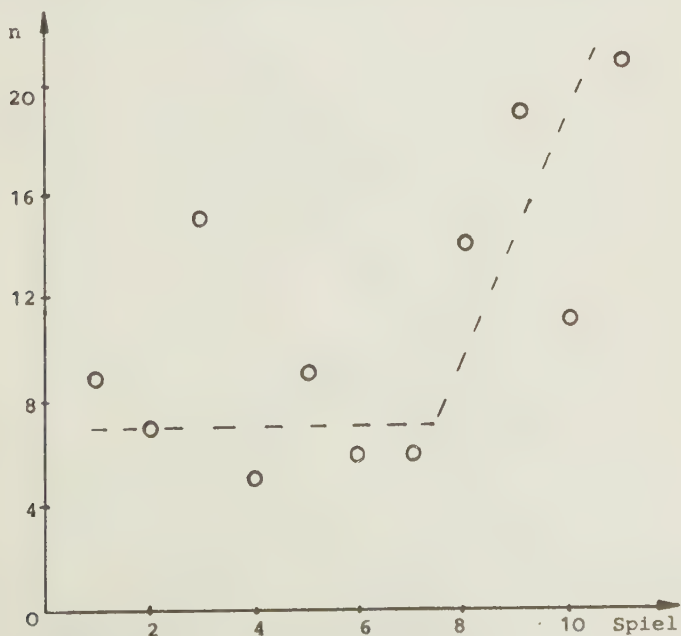


Abb. 10: Vp.1 (elfjährig), Gesamtzahl n der Züge

Die Gesamtzahl n der Züge weist bei der Vp.1 nach Abb. 10 eine grosse Streuung mit einer Schwankungsbreite zwischen $n = 5$ und $n = 21$ auf. Bei einer durchschnittlichen Spieldauer von 20 Minuten im Anfang der Spielserie beginnt nach etwa 2 Stunden Spielzeit die Problemlösungszeit wie auch n stark ansteigen, obwohl, laut Aussage der Vp., die Faszination des Spiels nicht nachgelassen hat; dieser Anstieg ist somit mehr auf einen Ermüdungseffekt als auf mangelnde Motivation zurückzuführen.

In Abb.11 sind u , n und die Bewertung des Spielverlaufs und in Abb. 12 ist e für die Vp.7 aufgetragen. Der Modalwert (Abb. 11) liegt bei $n = 6$ Zügen mit durchschnittlich einem redundanten Zug ($u = 1$). Die subjektive Bewertung des Spielverlaufs ist abhängig von der Länge n des vorangegangenen Problemlösungsprozesses: Benötigt die Vp.7 im folgenden Spiel weniger Züge als im vorausgehenden, bewertet sie dieses Spiel positiver, braucht sie mehr, erlebt sie es negativer. Eine Korrelation zwischen dieser Bewertung und der Zahl der redundanten Züge u bzw. der Anzahl der Züge in der Endphase e ist offensichtlich nicht vorhanden, wie auch keine Wechselbeziehungen zwischen n und u oder e bei der Vp.7 festzustellen sind. (Der lineare Korrelationskoeffizient zwischen u und e beträgt $r(u,e) = -0,68$.)

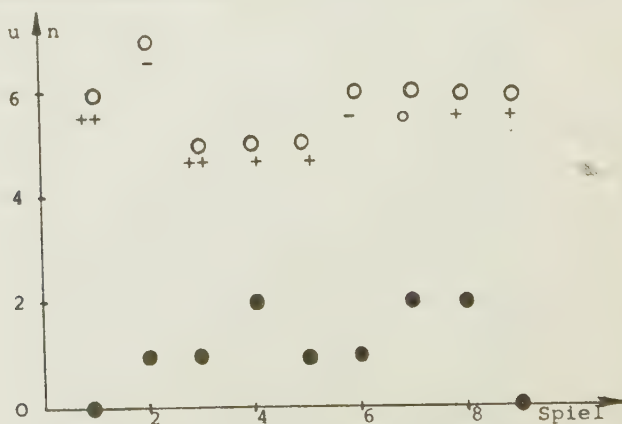


Abb. 11: Vp.7, n : o, u : • und Bewertung

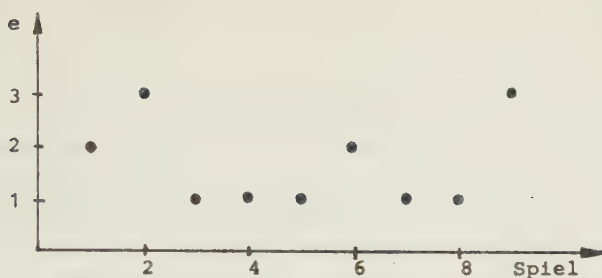


Abb. 12: Vp.7, e

Die Anzahl der Züge in der Endphase e schwankt bei der Vp.7 nach Abb. 12 zwischen $e = 1$ und $e = 3$; der Modalwert liegt bei $e = 1$.

Die Vp.5 benötigt bei einer grossen Schwankungsbreite zwischen $n = 5$ und $n = 15$ Zügen im Mittel etwa $n = 7$ Züge bis zur Überwindung der Interpolationsbarriere in Kodebrecher, von denen meist $u = 2$ redundant sind; dies ist zusammen mit der subjektiven Bewertung des Spielverlaufs in Abb. 13 graphisch dargestellt.

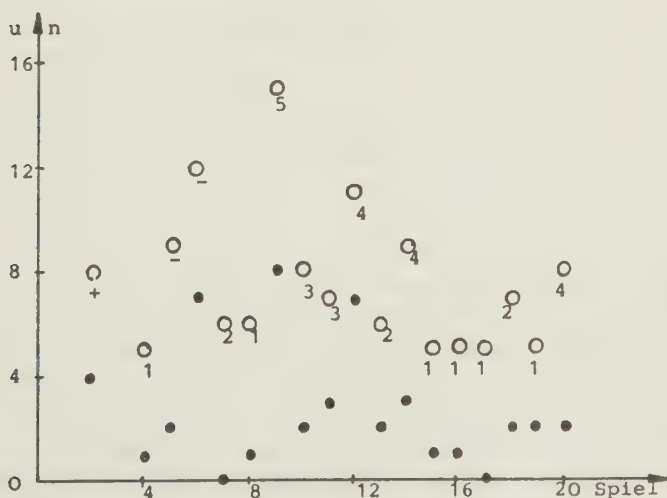


Abb. 13: Vp.5, n: o, u: • und Bewertung

Abb. 13 entnimmt man, dass die Vp.5 sämtliche Spiele mit weniger als $n = 6$ Zügen mit '1' und mit mehr als 8 Zügen negativ (mit '-', '4' oder '5') beurteilt. (Vgl. den ähnlichen Bewertungsmodus der Vp.3 in Abb. 9 mit höherem Anspruchsniveau.) Die Wechselbeziehung zwischen der subjektiven Spielbeurteilung und der Anzahl u der redundanten Züge ist nach Abb. 13 demgegenüber weniger stark ausgeprägt und eindeutig.

In Abb. 14 ist die von der Vp.5 benötigte Anzahl e der Züge in der Kombinationsphase angegeben. Eine Korrelation zwischen den Grössen n , u und/oder e tritt praktisch nur bei n und u mit einem linearen Korrelationskoeffizienten $r(n,u) = 0,91$ auf. Die Bewertung des Spielverlaufs hängt nicht von der Länge der Endphase (Abb. 14) ab.

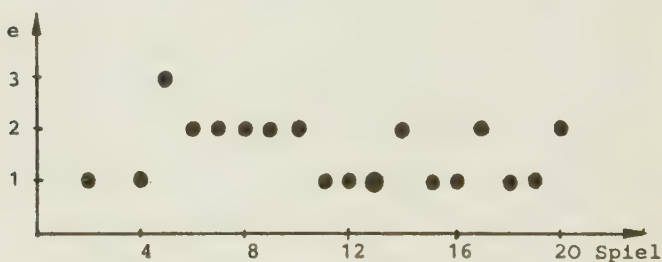


Abb. 14: Vp.5, e

Vp.8 wurde ausdrücklich und mehrmals darauf hingewiesen, dass in die Beurteilung des Spielverlaufs die Zufriedenheit des Problemlösers mit dem Problemlösungsprozess eingehen soll und auf keinen Fall primär die Gesamtzahl n der Züge. In der Nachexploration gab Vp.8 an, sich von der Zugzahl innerlich gelöst und nur nach ihrer subjektiven Zufriedenheit mit dem Spielverlauf diesen beurteilt zu haben. In Abb.15 sind n , u und die Bewertung des Spielverlaufs der Vp.8 wiedergegeben.

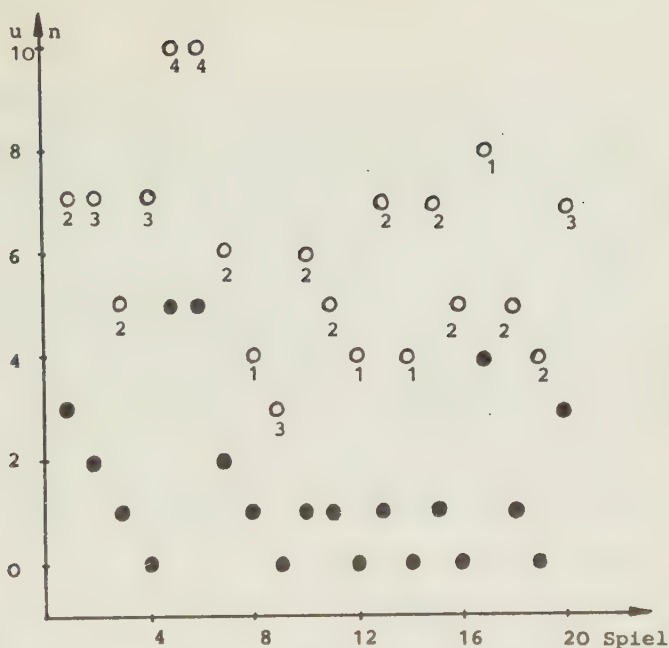


Abb. 15: Vp.8, n: o , u: ● und Bewertung

Die Wechselbeziehung zwischen der Bewertung des Spielverlaufs und der Gesamtzahl n der Züge ist bei der Vp.8 nach Abb. 15 nicht so stringent wie bei der Vp.3 nach Abb. 9 und der Vp.7 nach Abb. 13, obwohl auch hier die längsten Spiele Nr. 5 und 6 ($n = 10$) am negativsten beurteilt werden ('4'). Aus dem üblichen Bewertungsschema fallen vor allem die Spiele Nr. 9 mit $n = 3$ Zügen und der Bewertung '3' ("Das war reines Glück", urteilt die Versuchsperson.) und Nr. 17 mit $n = 8$ Zügen und der Bewertung '1'.

n streut in Abb. 15 um einen mittleren Wert von etwa $n = 6$, während der Modalwert bei $n = 7$ liegt; die Anzahl der redundanten Züge beträgt durchschnittlich zwischen $u = 1$ und $u = 2$, wobei das Intervall der Schwankungsbreite von $u = 0$ (Minimum) bis zu $u = 5$ (Maximum) reicht. Der lineare Korrelationskoeffizient zwischen n und u beträgt in Abb. 15 $r(n,u) = 0,86$.

Um die Versuchsergebnisse dieses Kap. 5.1.1. zusammenfassend in komprimierter Form darzustellen, werden zunächst die entsprechend den Abb. 7 bis 15 graphisch aufgetragenen Maße e , n und u bezüglich ihrer Verteilung untersucht. Fallen Extremwerte stark aus dem Rahmen (vgl. z.B. Abb. 10 und Abb. 13), streicht man bis zu 15% der grössten und entsprechend 15% der kleinsten Werte solange, bis sich die Intervallbreite zwischen Maximal- und Minimalwert innerhalb der 15%-Bedingung nicht weiter verringert. Das arithmetische Mittel ist als '•' in die Abb. 16 bis 18 eingetragen, während der Minimalwert der verbleibenden Restmenge die untere und ihr Maximalwert die obere Intervallgrenze des Fehlerbalkens um diesen Mittelwert darstellt.

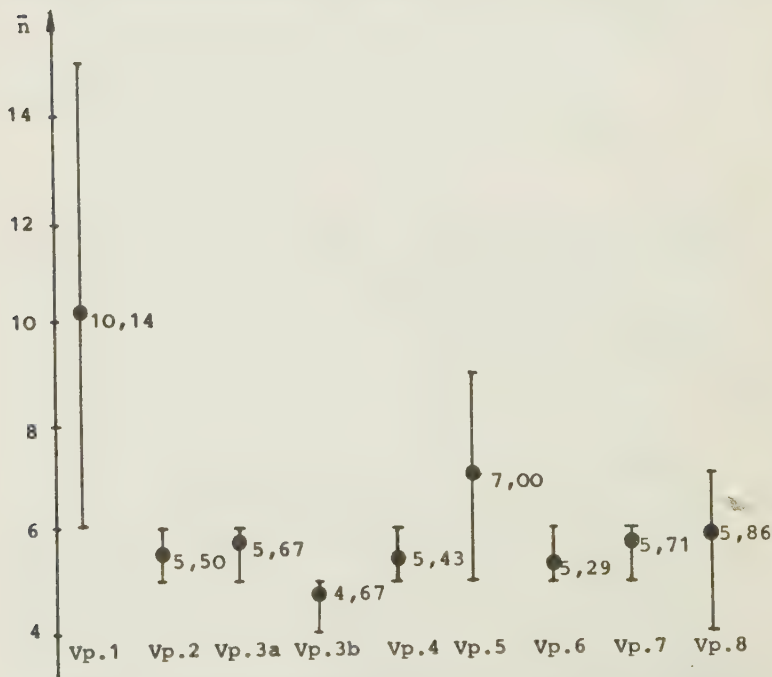


Abb. 16: Mittlere Gesamtzahl $\bar{n}$ der Züge mit Fehlerbalken

Entsprechend umseitiger Mittellungsvorschrift sind in Abb. 16 die mittlere Gesamtzahl $\bar{n}$, in Abb. 17 die mittlere Zahl $\bar{u}$ der redundanten Züge und in Abb. 18 die mittlere Zahl $\bar{e}$ der Züge in der Endphase aufgetragen gegen die Versuchspersonen der hier vorgestellten Stichprobe nach Tab.5. Da eine qualitative Umstrukturierung der angewandten Strategien zur Überwindung der Interpolationsbarriere in Kodebrecher bei der Vp.3 durch die systemtheoretische Erörterung dieses Problemlösungsspieles stattgefunden hat, steht in Abb. 16 und 17 Vp.3a für Vp.3 nach Abb. 7 und Vp.3b für Vp.3 nach Abb. 8 .

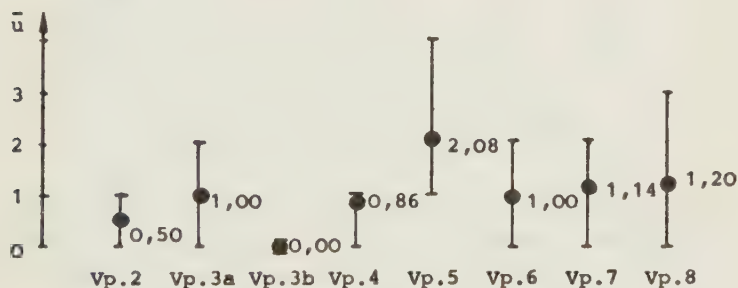


Abb. 17: Mittlere Zahl $\bar{u}$ der redundanten Züge mit Fehlerbalken

Mit wachsender Zugzahl werden in Abb. 16 und 17 die betreffenden Fehlerintervalle grösser, was im folgenden entsprechend der Abb. 17 für $\bar{u}$ kurz aufgelistet ist:

Mittlere Anzahl $\bar{u}$ der redundanten Züge	Fehlerinter- vallbreite
0	(0 $\leq u < 0,5$) 0 (vgl. Abb.8)
0,5; 0,9	(0,5 $\leq u < 1,0$) 1
1,0; 1,1	(1,0 $\leq u < 1,2$) 2 (vgl. Abb.7 u. 11)
1,2; 2,1	(1,2 $\leq u$) ≥ 3 (vgl. Abb.13 u. 15)

Die Vp.5 benötigt nach Abb. 16 durchschnittlich die meisten Züge ($\bar{n} = 7$) bis zur Bestimmung der gesuchten Geheimzahl, von denen nach Abb. 17 (praktisch) immer einer (untere Grenze des Fehlerbalkens) und im Mittel etwa $\bar{u} = 2$ redundant sind (vgl. auch Abb. 13). Demgegenüber löst die Vp.3b das Interpolationsproblem in Kodebrecher irredundant ($\bar{u} = 0$ in Abb. 17) nach durchschnittlich $\bar{n} = 4,67$ Zügen (Abb. 16) (vgl. auch Abb. 8).

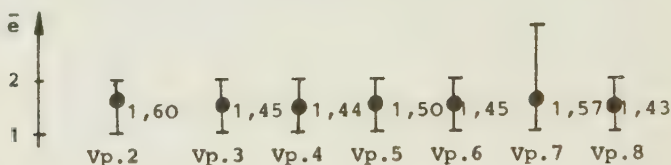


Abb. 18: Mittlere Zahl $\bar{e}$ der Züge in der Endphase mit Fehlerbalken

Die Mittelwerte $\bar{e}$ für die Anzahl der Züge in der Kombinationsphase streuen innerhalb der untersuchten Stichprobe (vgl. Tab. 5) mit 5% geringfügig um einen mittleren Wert von 1,5 nach Abb. 18, sind also (praktisch) konstant.

Der lineare Korrelationskoeffizient zwischen $\bar{n}$ (Abb. 16) und $\bar{u}$ (Abb. 17) beträgt $r(\bar{n}, \bar{u}) = 0,94$. Aus der Differenz von $\bar{n}$ und $\bar{u}$ ergibt sich als arithmetisches Mittel der Wert $\bar{n} - \bar{u} = 4,7$ mit einer relativen Streuung von 5%. Mit $\bar{n} - \bar{u} = \bar{a} + \bar{e}$ erhalten wir für die in Kap. 5.1.1. behandelten Masse bei der hier vorgestellten Versuchspersonengruppe aus dem Hochschulbereich:

$$\begin{aligned}
 \bar{a} &= 3,2 \text{ Züge} & (\text{const.}) \\
 \bar{e} &= 1,5 & " \\
 \bar{u} &= 0 - 2,1 \text{ Züge} & (\text{Vp.-abhängig}) \\
 \bar{n} &= 4,7 = 7 - \bar{n} & " \\
 &= \bar{a} + \bar{u} + \bar{n} & "
 \end{aligned}$$

5.1.2.

Die informationstheoretischen Maße
 tI , $ID(a+u)$, $ID(a)$ und $ID(u)$

Die totale Information tI bis zum Erreichen der Endphase ist für die Vp.3 nach etwa 180 Spielen in Abb. 19 wiedergegeben.

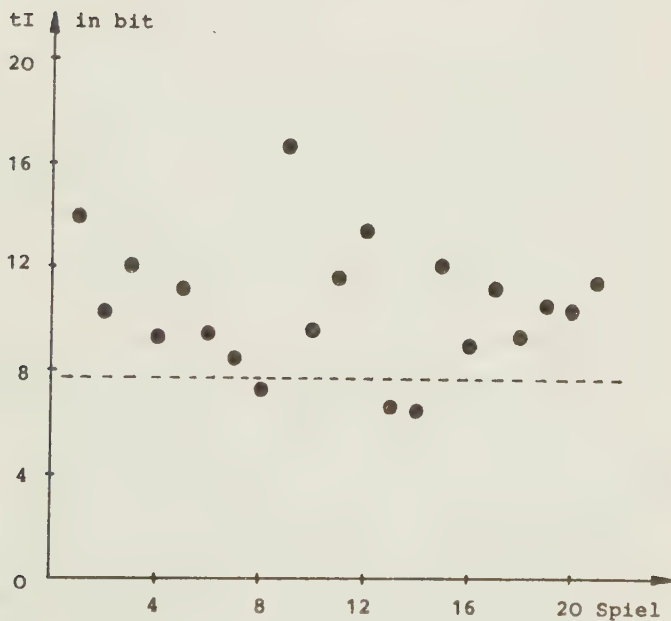


Abb. 19: Vp.3, tI

Die Vp.3 liegt nach Abb. 19 mit dem arithmetischen Mittelwert $\overline{tI} = 10,35$ bei einer Streuung von $s = 1,17$ um 2,7 bit über der Abbruchbedingung von 0,5% bis zum Erreichen der Endphase nach (21) in Kap. 3.5.3., die in Abb. 19 und entsprechenden Diagrammen strichliert bei 7,64 bit eingetragen ist.

In Abb. 20a ist die Informationsdichte in der Anfangsphase $ID(a)$, in Abb. 20b die in der Übergangsphase $ID(u)$ und in Abb. 20c die beim Erreichen der Endphase vorliegende Informationsdichte $ID(a+u)$ für die Vp.3 entsprechend der Spielserie Abb. 19 (bzw. Abb. 9) wiedergegeben. Die strichlierte Gerade entspricht dem mathematisch abgeleiteten mittleren Informationsgehalt $H(x) = 2,83$ bit nach Glg. (24) in Kap. 3.6. .

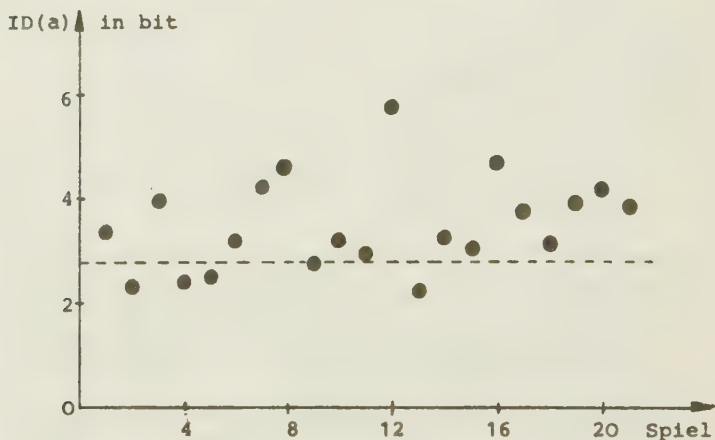


Abb. 20a: Vp.3, $ID(a)$

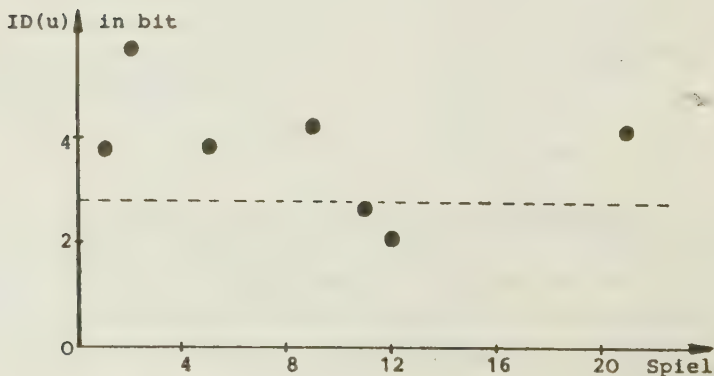


Abb. 20b: Vp.3, $ID(u)$

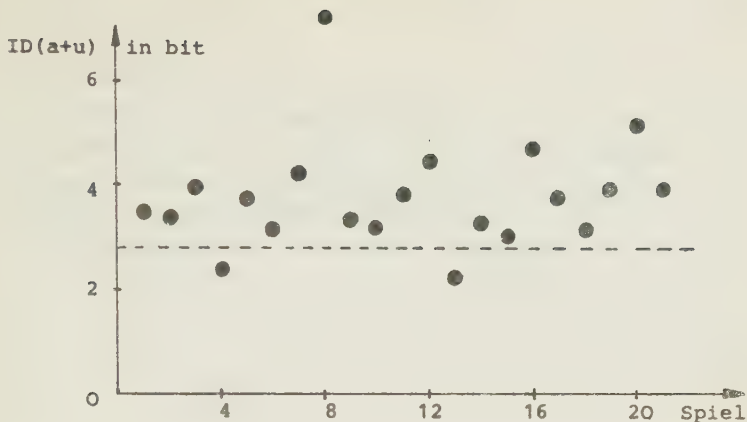


Abb. 20c: Vp.3, ID(a+u)

Bei der Berechnung des arithmetischen Mittelwertes von $ID(a)$ und $ID(a+u)$ werden Informationsdichten mit mehr als 5 bit nicht berücksichtigt, da die Problemlöser bei einer nach Tab. 2 unwahrscheinlichen Anzeige mit hohem Informationsgehalt nach dem ersten Zug praktisch sofort in die Kombinationsphase übergegangen sind, ohne den Suchraum durch Schnittmengenbildung entsprechend Kap. 3.5.1. einzuschränken; ein solches Ereignis wird von den Versuchspersonen meistens mit "Glück" oder "Zufall" bezeichnet.

Die Informationsdichte für die Vp.3 in der Anfangsphase liegt mit durchschnittlich $\overline{ID(a)} = 3,29$ bit um 0,46 über der mittleren Informationsdichte $H(x)$ (strichlierte Gerade in Abb. 20) bei einer Streuung von $s = 0,70$ gegenüber der nach Glg. (26) berechneten mittleren Streuung von 0,70 (vgl. Kap. 3.6.). In der Übergangsphase beträgt die mittlere Informationsdichte $\overline{ID(u)} = 3,75$ bit etwa 0,5 bit mehr als in der Anfangsphase; allerdings ist die Streuung beträchtlich (vgl. Abb. 20b). Beim Erreichen der Endphase weist die der Vp.3 vorliegende totale Information tI (vgl. Abb. 19) die Informationsdichte entsprechend der Abb. 20c auf und beträgt durchschnittlich $\overline{ID(a+u)} = 3,51$ mit einer Streuung $s = 0,63$.

In Abb. 21 ist die totale Information tI beim Erreichen der Endphase für die Vp.2 wiedergegeben, die nach der Vp.3 (vgl. Abb. 19 und 20) die zweitgeringste Anzahl von redundanten Zügen bis zur Überwindung der Interpolationsbarriere in Kodebrecher innerhalb unserer Stichprobe benötigt (vgl. Abb. 17).

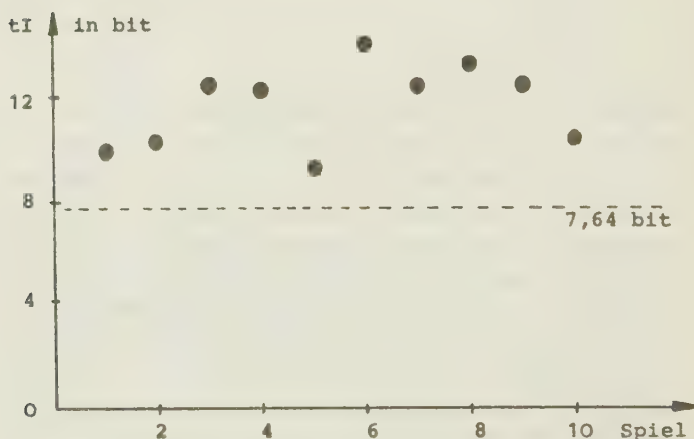


Abb. 21: Vp.2, tI

Der mittlere Informationsgehalt $\overline{tI} = 11,53$ liegt für die Vp.2 bei einer Streuung von $s = 1,55$ um 1,2 bit höher als bei der Vp.3 in Abb. 19 und um 3,9 bit über dem Abbruchkriterium nach (21) (vgl. Kap. 3.5.3.).

Die Informationsdichte bzgl. der Spielserie in Abb. 21 ist für die Vp.2 in Abb. 22 dargestellt. Von einer mittleren Informationsdichte $\overline{ID(a)} = 2,75$ ($s = 0,61$) in der Anfangsphase steigt die durchschnittliche Informationsdichte auf $\overline{ID(u)} = 3,63$ ($s = 1,06$) in der Übergangsphase um 0,9 bit. Strichliert ist in Abb. 22 der mittlere Informationsgehalt $H(x) = 2,83$ bit für die Schnittmengenbildung nach Glg.(24) eingetragen.

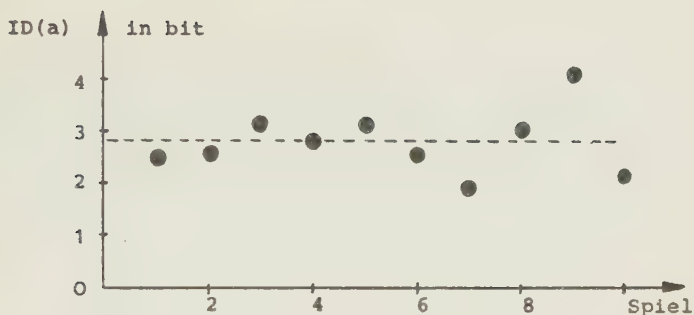


Abb. 22a: Vp.2, ID(a)

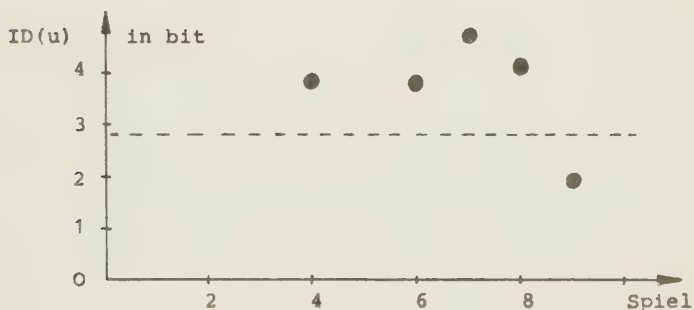


Abb. 22b: Vp.2, ID(u)

Während die mittlere Informationsdichte bei der Vp.2 erst in der Übergangsphase auf einen Wert oberhalb des mittleren Informationsgehaltes $H(x)$ durch Schnittmengenbildung nach Kap. 3.5.1. ansteigt, liegt die mittlere Informationsdichte $\overline{ID(a)}$ der Vp.3 schon in der Anfangsphase nach Abb. 20a über $H(x)$. (Die relativ grosse Streuung ist systembedingt und muss nach Glg. (26) in Kap. 3.6. durchschnittlich $s = 0,70$ betragen.) Vp.3 wendet bereits in der Anfangsphase eine Strategie an, die mehr Information als die Suchraumeinschränkung durch Schnittmengenbildung liefert, d.h. die Kombinationsphase (vgl. Kap. 3.5.6.) setzt bei Vp.3 früher ein als bei Vp.2. Die mittleren Informationsdichten $\overline{ID(u)}$ unterscheiden sich bei Vp.2 und Vp.3 nur geringfügig.

In Abb. 23 ist entsprechend der Spielserie von Abb. 15 die totale Information beim Erreichen der Endphase für die Vp.8 aufgetragen, die nach Abb. 16 die zweitmeisten Züge bis zur Lösung des Problems innerhalb der untersuchten Stichprobe (vgl. Tab.5) benötigt.

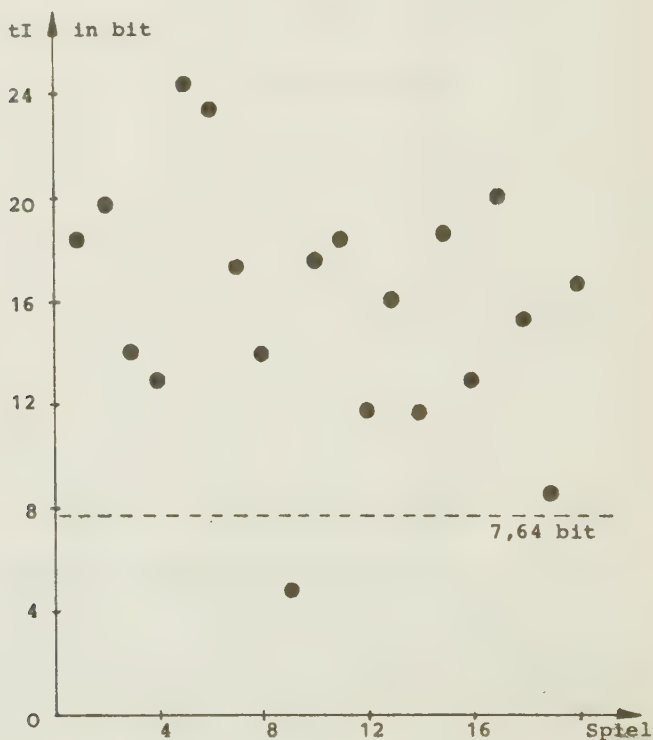
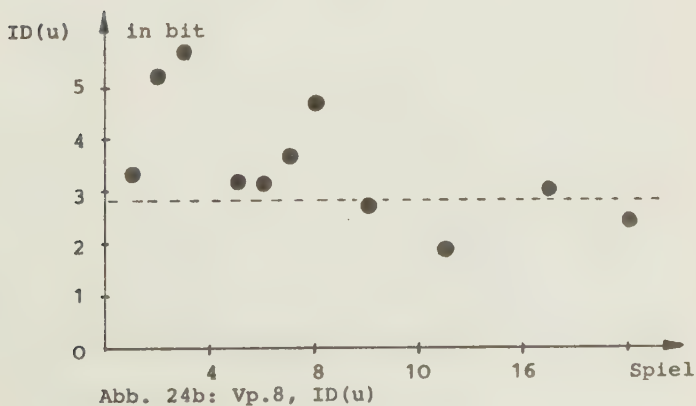
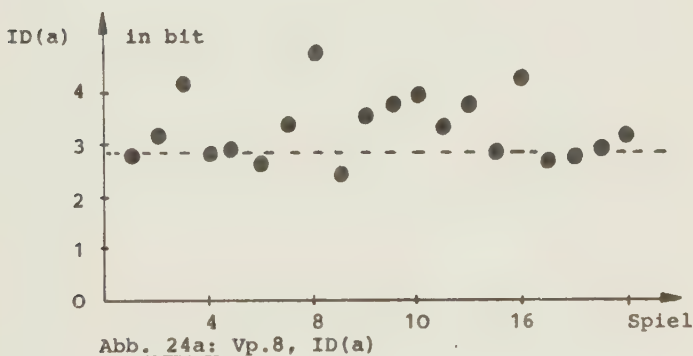


Abb. 23: Vp.8, tI

Bei den Spielen Nr. 5 und 6 ist die Vp.8 durch äussere Bedingungen in ihrem Spiel mehrmals unterbrochen worden; der Problemlösungsprozess von Spiel Nr. 9 wird als zufallsbedingt bezeichnet und entsprechend mit '3' bewertet (vgl. Abb. 15).

Mit einer durchschnittlichen totalen Information $\overline{tI} = 15,93$ bit bei einer Streuung $s = 2,77$ benötigt Vp.8 etwa doppelt soviel Information bis zum Erreichen der Endphase wie bei irredundanter Schnittmengenbildung (nach Kap. 3.5.1.) in Kap. 3.5.3. mit (20) berechnet wird; $H(x)$ ist in Abb. 23 strichliert eingetragen. Die totale Information der Vp.8 übersteigt im Mittel die der Vp.2 (Abb. 21) und der Vp.3 (Abb. 19) um mehr als 4 bit und weist eine ca. doppelt so grosse Streuung auf.



Die mittlere Informationsdichte in der Anfangsphase $\overline{ID(a)} = 3,21$ bit ($s = 0,60$) liegt bei der Vp.8 nach Abb. 24a um ca. 0,4 bit über $H(x)$ (strichlierte Gerade in Abb.24) und erhöht sich in der Übergangsphase unwesentlich (vgl. die Verteilung von $ID(u)$ in Abb. 24b) um etwa 0,3 bit auf $\overline{ID(u)} = 3,52$ bit mit der Streuung $s = 1,18$. Auch bei der Vp.8 tritt analog zur Vp.3 neben der mengentheoretischen Suchraumeinschränkung eine Erhöhung der Informationsdichte $ID(a)$ durch Verwertung bereits vorliegender Information schon in der Anfangsphase in Erscheinung.

Nach Abb. 16 löst die Vp.5 das in Kodebrecher gestellte Problem im Mittel nach 7 Zügen mit der nach Abb. 17 grössten Zahl redundanter Züge in dieser Stichprobe. In Abb.25 ist die totale Information bis zum Erreichen der Endphase und in Abb.26 sind Informationsdichten der Anfangs- und Übergangsphase entsprechend der Versuchsserie von Abb. 13 aufgetragen. Die Ziffern und Zeichen '+' und '-' geben in Abb. 25 die Bewertung des Spielverlaufs durch die Vp.5 an.

In Abb. 25 fällt zunächst auf, dass die Vp.5 diejenigen Spiele am positivsten bewertet, die nahe an dem Abbruchkriterium von 7,64 bit nach (21) liegen. Beträgt die totale Information mehr als 30 bit bis zum Erreichen der Endphase, beurteilt Vp.8 den Spielverlauf negativ oder mit '4'. Nachdem in dem vorangegangenen Kap. 5.1.1. gezeigt wird, dass die subjektive Zufriedenheit des Problemlösers (entsprechend seines Leistungsanspruchsniveaus) mit dem Spielverlauf praktisch durch die Gesamtzahl der benötigten Züge erklärt werden kann (vgl. Abb. 9, 13 und auch 15), ist die adäquate Einschätzung des Spielverlaufs entsprechend der Abb. 25 durch die Vp.5 auf die geringe Abweichung der Informationsdichten $ID(a+u)$ von dem mengentheo-

retisch bestimmten mittleren Informationsgehalt $H(x) = 2,83$ (als strichlierte Gerade in Abb. 26 und 27 eingetragen) zurückzuführen (vgl. Abb. 27): Die Verteilungen der Gesamtzahl n der Züge in Abb. 13 und des totalen Informationsgehaltes beim Erreichen der Endphase tI in Abb. 25 sind (bis auf monotone Transformationen) nahezu identisch.

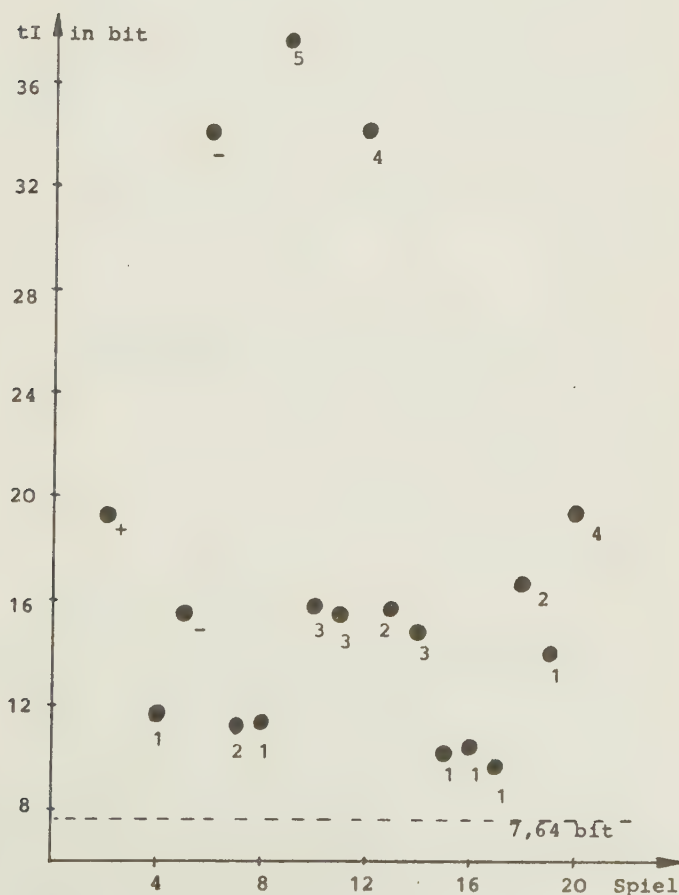


Abb. 25: Vp.5, tI und Bewertung

Ohne die Spiele Nr. 6, 9 und 12 (tI grösser als 30 (!) bit) beträgt der mittlere totale Informationsgehalt beim Erreichen der Endphase für die Vp.5 nach Abb. 25 $\overline{tI} = 14,03$ bit ($s = 3,20$) und liegt somit zwischen denen der Vp.3 und 2 (Abb. 19 und 21) und jenem der Vp.8 (Abb. 23); $\overline{tI}$ liegt um 6,4 bit über $H(x)$.

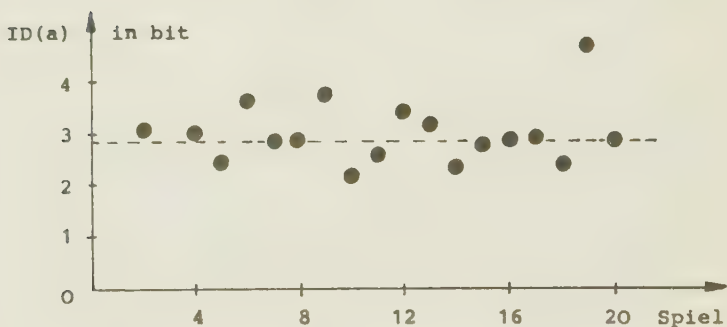


Abb. 26a: Vp.5, ID(a)

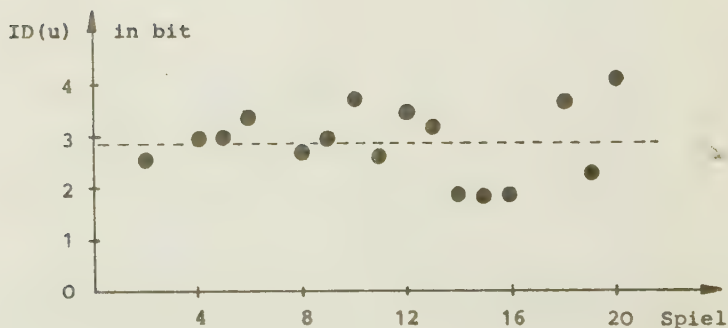


Abb. 26b: Vp.5, ID(u)

Die durchschnittlichen Informationsdichten $\overline{ID(a)} = 2,96$ ($s = 0,61$) in der Anfangsphase und $\overline{ID(u)} = 2,84$ ($s = 0,68$) liegen nur äusserst geringfügig über dem mittleren Informationsgehalt $H(x) = 2,83$ nach Glg. (24) mit der Streuung $s = 0,70$ nach Glg. (26) in Kap. 3.6., ein Indiz, das auf eine Strategie des stochastischen Vorgehens durch Schnittmengenbildung entsprechend Kap. 3.5.1. bei der Vp.5 hindeutet. Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz muss sich bei gleichbleibender Fehlerverteilung (keine Änderung der Strategie in der Anfangs- und Übergangsphase - vgl. Abb. 26a und 26b) die Standardabweichung s bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Anfangs- und Übergangsphase verringern und zwar mit Glg. (26) bei $a+u = 7$ auf $s_7 = 0,45$.

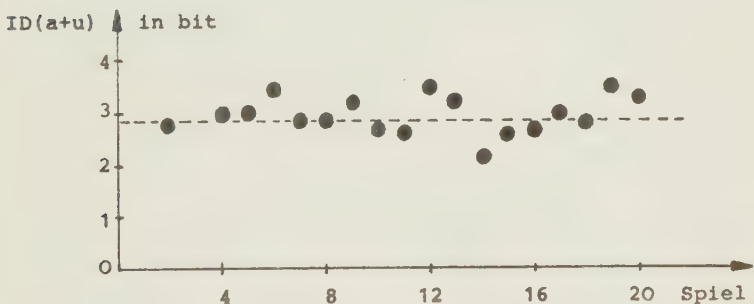


Abb. 27: Vp.5, $ID(a+u)$

In Abb. 27 ist die Standardabweichung $s = 0,37$ (etwas geringer als obiger Wert von $s_7 = 0,45$) der durchschnittlichen Informationsdichte $\overline{ID(a+u)} = 2,87$ bit (zur totalen Informationsdichte tI siehe Abb. 25) bis zum Erreichen der Endphase kleiner als die in der Anfangs- und Übergangsphase nach Abb. 26. (Das grundsätzlich andere strategische Vorgehen mit möglichst frühzeitiger Bildung von Kombinationen ist bei der Vp.3 bzgl. der Informationsdichte ID in Abb. 20a - c dargestellt.)

Um die Versuchsergebnisse dieses Kap. 5.1.2. zusammenfassend darzustellen, wird zunächst in Abb. 28 die durchschnittliche totale Information $\bar{tI}$ beim Erreichen der Endphase für die bzgl. ihres Problemlösungsverhaltens bei Kodebrecher untersuchte Stichprobe aus dem Hochschulbereich (vgl. Tab. 5) wiedergegeben. Die jeweilige Standardabweichung s ist als Fehlerbalken $\bar{tI} \pm s$ eingetragen und das Abbruchkriterium (21) mit 7,64 bit nach Kap. 3.5.3. gestrichelt dargestellt.

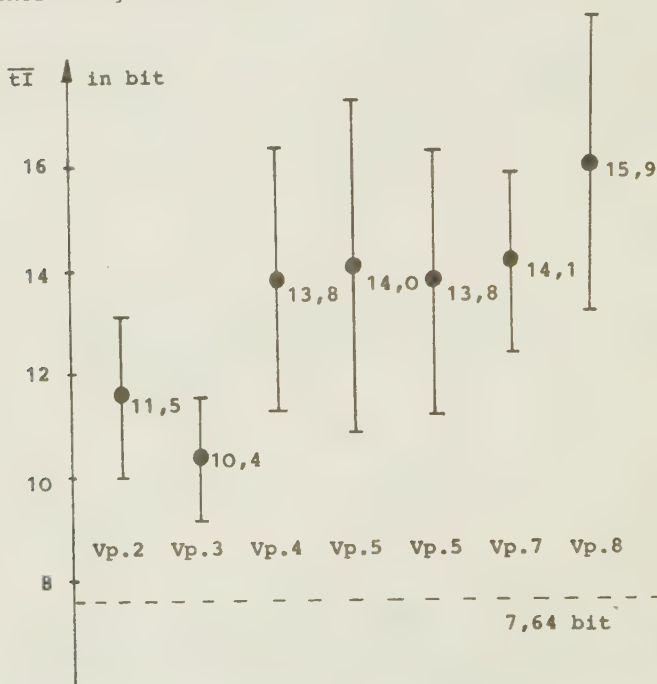


Abb. 28: Durchschnittliche totale Information $\bar{tI}$ beim Erreichen der Endphase

Der Modalwert der mittleren totalen Information $\bar{tI}$ liegt in der untersuchten Stichprobe nach Abb. 28 bei etwa 14 bit und übersteigt das Abbruchkriterium (21) (gestrichelte Gerade) um ca. das Zweifache. Die relativ grossen Stan-

dardabweichungen sind systembedingt (vgl. die grossen Streuungen im Informationsgehalt der Anzeigen in Tab. 2) und müssen bei $n = 6$ Zügen (d.h. $a \leq 4,5$ nach Kap. 5.1.1.) dem Fehlerfortpflanzungsgesetz nach (vgl. Kap. 3.6.) a priori den Wert von $s = 0,6$ bit überschreiten. Die durchschnittliche totale Information $\overline{tI}$ der Vp.2 und Vp.3 (mit der geringsten Anzahl redundanter Züge nach Abb. 17) liegt deutlich (mehrere bit) unterhalb der der übrigen Versuchspersonen dieser Stichprobe und nur etwa 3 bis 4 bit oberhalb des Limits von 7,64 bit. Die Standardabweichung bei den Vp.4 bis Vp.8 ist in Abb. 28 (bei durchschnittlich höherer totaler Information tI !) beträchtlich grösser als die der Vp.2 und Vp.3 .

In Abb. 29a ist die durchschnittliche Informationsdichte $\overline{ID}$ in der Anfangs- und Übergangsphase aufgetragen und der mittlere Informationsgehalt nach Kap. 3.6. $H(x) = 2,83$ bit gestrichelt eingezeichnet.

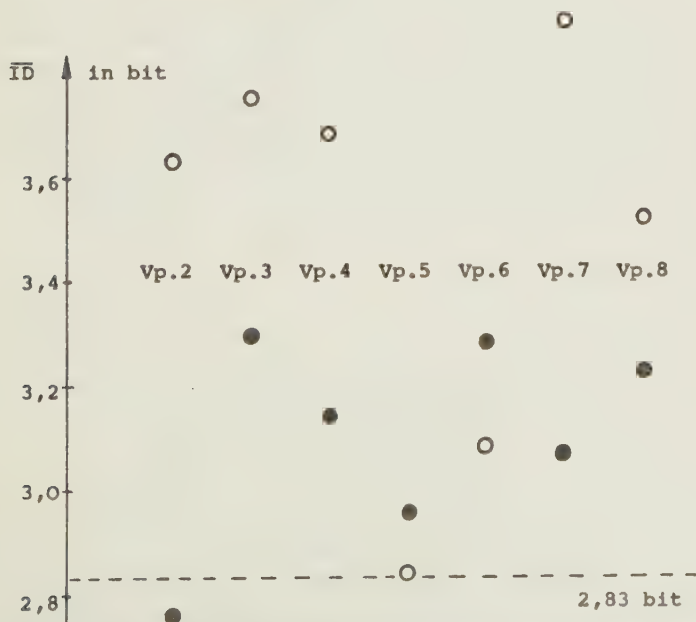


Abb. 29a: Mittlere Informationsdichte in der Anfangsphase $ID(a)$: ● und Übergangsphase $ID(u)$: ○

Die durchschnittliche Informationsdichte $\overline{ID(a)}$ in der Anfangsphase liegt in Abb. 29a i.a. deutlich über dem mittleren Informationsgehalt $H(x)$, was bei diesen Versuchspersonen auf einen Problemlösungsprozess hinweist, der neben der stochastischen Schnittmengenbildung nach Kap. 3.5.1. auch informationstheoretisch höherwertige Strategien beinhaltet, etwa die Verwertung bereits vorliegender Information entsprechend dem systemtheoretischen Modell in Kap. 3.4.2. . Eine Analyse der Protokollbögen (mit den Rohdaten) zeigt, dass Vp.2 grundsätzlich ihr Spiel mit der Ziffernfolge '1234' beginnt und als zweiten Zug '5678' wählt. Auch bei Vp.5 kommt in den ersten beiden Zügen keine Ziffer doppelt vor, während Vp.3 z.B. den ersten Zug samt Anzeige für die Wahl des zweiten berücksichtigt: Auf den ersten Zug '1425' mit der Anzeige '1.2' folgt (systemtheoretisch optimal nach Kap. 3.4.2.) der Zug '4185' bei Vp.3 oder auf '5184' mit der Anzeige '0.3' der Zug '8549' etc.. Die Informationsdichten streuen allerdings beträchtlich, wie Abb. 20, 22, 24 und 26 zu entnehmen ist. Die Standardabweichung der Informationsdichte in der Anfangs- und Übergangsphase ist in Abb. 29b eingetragen und die nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz entsprechend Kap. 3.6. berechnete mittlere Standardabweichung $s = 0,70$ bit (bei $a = 3$) in der Anfangsphase gestrichelt eingezeichnet.

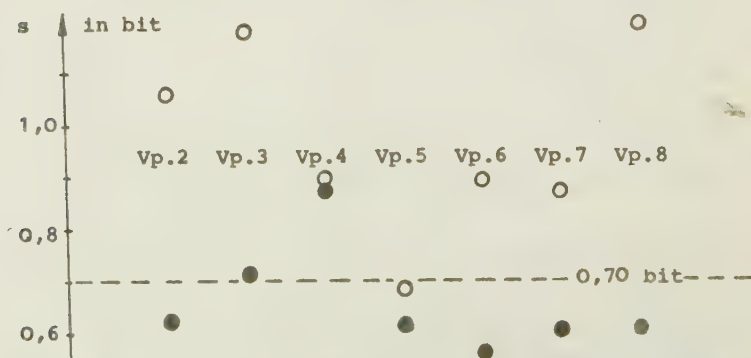


Abb. 29b: Standardabweichung der Informationsdichten in der Anfangs- ('●') und Übergangsphase ('○')

Der Modalwert der Standardabweichungen der Informationsdichten in der Anfangsphase liegt mit $s = 0,6$ bit geringfügig unter der nach Glg. (26) berechneten mittleren Standardabweichung von $0,7$ bit. (Spiele mit einer Informationsdichte $ID(a)$ von mehr als 5 bit werden bei dieser Auswertung nicht berücksichtigt (!)) Fehlertheoretisch bedingt übersteigt die Standardabweichung in der Übergangsphase diesen Wert (gestrichelte Gerade in Abb. 29b) (da die Übergangsphase i.a. kürzer als die Anfangsphase ist) mit Ausnahme der Vp.5, die nach Abb. 17 die grösste Redundanz im Problemlösungsprozess bei Kodebrecher aufweist.

Die durchschnittliche Informationsdichte $\overline{ID(a+u)}$ beim Erreichen der Endphase liegt entsprechend der Abb.29a über der der Anfangsphase ($\overline{ID(a)}$), und die Streuung der Werte verringert sich entsprechend der Anzahl der Züge (vgl. Abb. 20c: Vp.3 und Abb. 27: Vp.5).

5.1.3. Die Maße bzgl. der Kombinationsphase:
 t_{IK} , $IKD(n-1)$, $IKD(a)$, $IKD(u)$ und $IKD(a+u)$

In Abb. 30 ist die totale Information für die Vp.3 bzgl. der Kombinationsphase (vgl. Kap. 3.7. und Tab. 3) wiedergegeben. Der mittlere Informationsgehalt beträgt nach (27) $I(x) = 2,667$; die durchschnittliche minimale totale Information für die Kombinationsphase bei einem irredundantem Problemlösungsprozess mit $n-1 = 3,7$ Zügen bis zur Eingrenzung der gesuchten Geheimzahl (vgl. Abb. 16 und 17 in Kap. 5.1.1.) erhält damit den Wert 9,9 und ist in Abb. 30 und entsprechenden Diagrammen gestrichelt eingezeichnet.

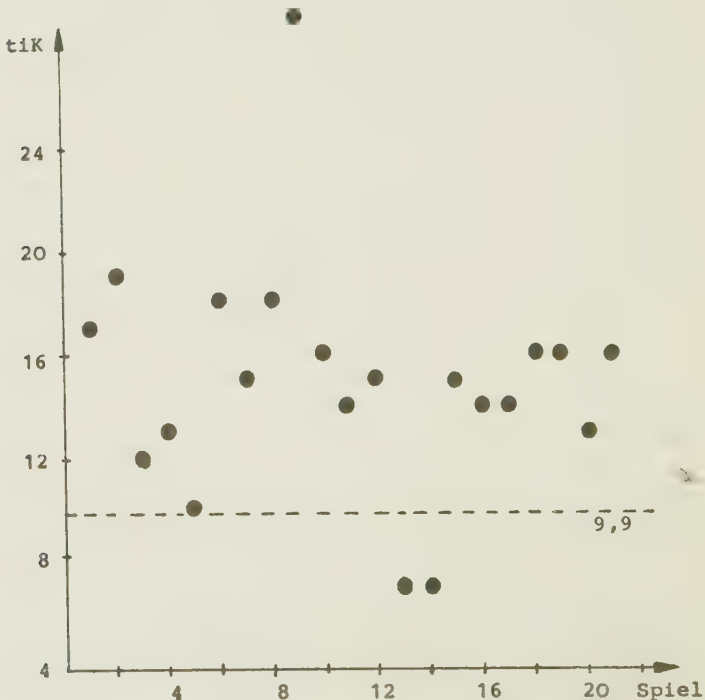


Abb. 30: Vp.3, totale Information für die Kombinationsphase t_{IK}

Median und Mittelwert fallen bei der Vp.3 in Abb. 30 zusammen und liegen mit $\overline{tiK} = 15$ um das 1 1/2-fache über dem durchschnittlichen Minimalwert von 9,9 bei stochastisch unabhängig voneinander erfolgenden Zügen (gestr. Gerade in Abb. 30); die Streuung ist relativ gering mit einer Standardabweichung $s = 2,3$ (ohne die 3 Extremwerte von Spiel Nr. 9, 13 und 14) gegenüber einer (nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz berechneten) mittleren Standardabweichung $s = 3,3$ ($= \sqrt{3,7 \times 1,73}$; vgl. Kap. 3.7.). Die Vp.3 benötigt i.a. eine totale Information zwischen $tiK = 10$ und $tiK = 20$ zur Durchdringung der Interpolationsbarriere im Problemlösungsspiel Kodebrecher.

In Abb. 31a ist die Informationsdichte bzgl. der Kombinationsphase in der Anfangsphase IKD(a) und in Abb. 31b die bis zur Bestimmung der Geheimzahl IKD(n-1) für die Vp.3 aufgetragen.

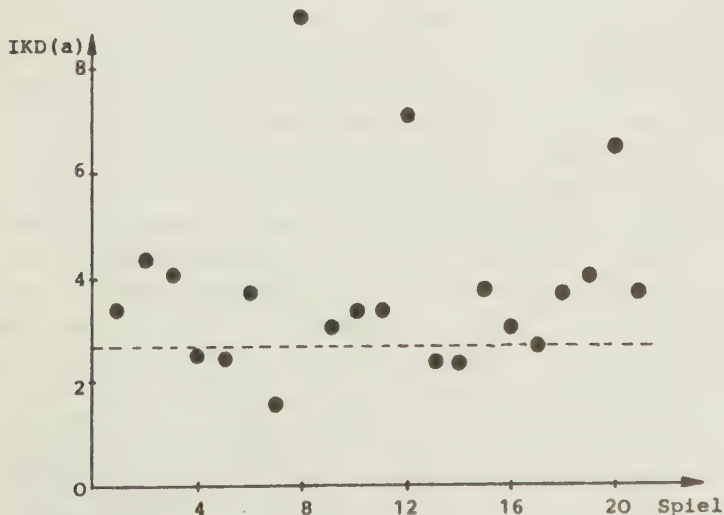


Abb. 31a: Vp.3, Informationsdichte IKD(a) bzgl. der Kombinationsphase in der Anfangsphase

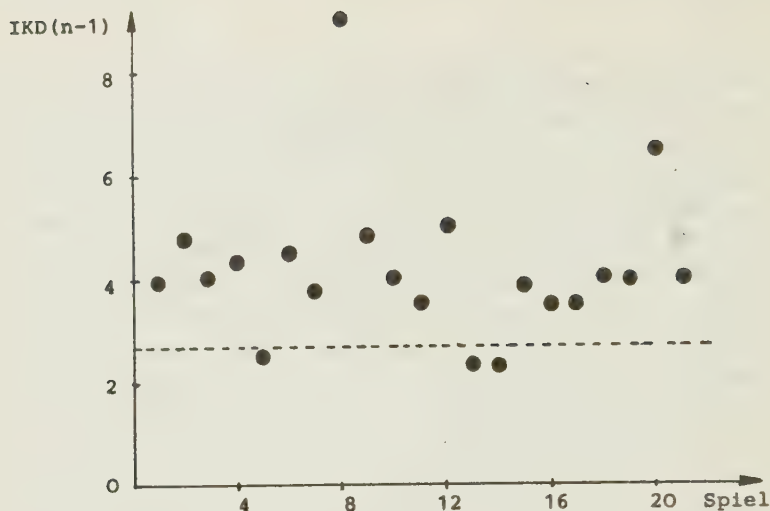


Abb. 31b: Vp.3, Informationsdichte $IKD(n-1)$
in der Endphase (letzter Zug)

Ohne Berücksichtigung von Informationsdichten mit Werten grösser als $IKD = 6$ beträgt die mittlere Informationsdichte für die Vp.3 $IKD(a)$ in der Anfangsphase nach Abb. 31a $\overline{IKD(a)} = 3,2$ ($s = 0,7$) und übersteigt den durchschnittlichen Informationsgehalt für die Kombinationsphase bei stochastisch unabhängig voneinander erfolgenden Zügen $I(x) = 2,7$ nach Glg. (27) (Kap. 3.7.) um $0,5$. In Abb. 31b fallen Median und Mittelwert zusammen, und die durchschnittliche Informationsdichte beim letzten Zug $\overline{IKD(n-1)} = 4,0$ ($s = 0,5$) liegt um den Wert $0,8$ über der in der Anfangsphase (Abb. 31a) und um $1,3$ über $I(x)$ (gestr. Gerade in Abb. 31). Die Informationsdichten bzgl. der Endphase in der Anfangsphase bewegen sich i.a. zwischen $IKD(a) = 2,3$ und $IKD(a) = 4,0$ und beim letzten Zug im Intervall von $IKD(n-1) = 2,5$ bis $IKD(n-1) = 5,0$. Bei der Vp.3 mit wenig redundanten Zügen (vgl. Abb. 9) setzt der Problemlösungsprozess über logisches Kombinieren bereits in der Anfangsphase ein, die Informationsdichte erhöht sich frühzeitig (vgl. Abb. 20a und 31a), und die Interpolationsbarriere wird nach durchschnittlich $4,7$ irredundanten Zügen durchbrochen (vgl. Abb. 16: Vp.3b).

In Abb. 32 ist die der Spielserie von Abb. 21 entsprechende Informationsdichte $IKD(a)$ in der Anfangsphase bzgl. der Kombinationsphase für die Vp.2 wiedergegeben und der Erwartungswert $I(x) = 2,7$ gestrichelt eingetragen.

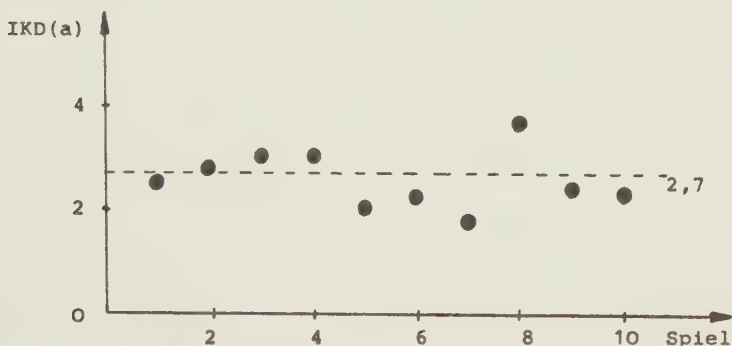


Abb. 32: Vp.2, Informationsdichte $IKD(a)$ in der Anfangsphase bzgl. der Kombinationsphase

Die Informationsdichte $IKD(a)$ liegt bei der Vp.2 mit dem arithmetischen Mittelwert $\overline{IKD(a)} = 2,6$ ($s = 0,6$) nach Abb. 32 im Gegensatz zur Vp.3 (vgl. Abb. 31a) knapp unter $I(x) = 2,7$; die Suchraumeinschränkung in der Anfangsphase schafft bei der Vp.2 keine zusätzliche Information für die Kombinationsphase, die einzelnen Züge erfolgen zunächst unabhängig voneinander (vgl. auch Kap. 5.1.2.: Abb. 22a), und die Verwertung bereits vorliegender Information setzt praktisch erst in der Übergangsphase mit $\overline{IKD(u)} = 3,8$ ein.

In Abb. 33 ist die totale Information tIK bzgl. der Kombinationsphase beim letzten Zug für die Vp.8 graphisch dargestellt und der minimale Erwartungswert 9,9 gestrichelt eingetragen. Vp.8 benötigt nach Abb. 15 und 17 durchschnittlich $\bar{u} = 1,2$ redundante Züge; der mittlere totale Informationsgehalt der Anzeigen $\bar{tI} = 15,9$ bit beim Erreichen der Endphase liegt nach Abb. 28 bei der Vp.8 in der untersuchten Stichprobe am höchsten.

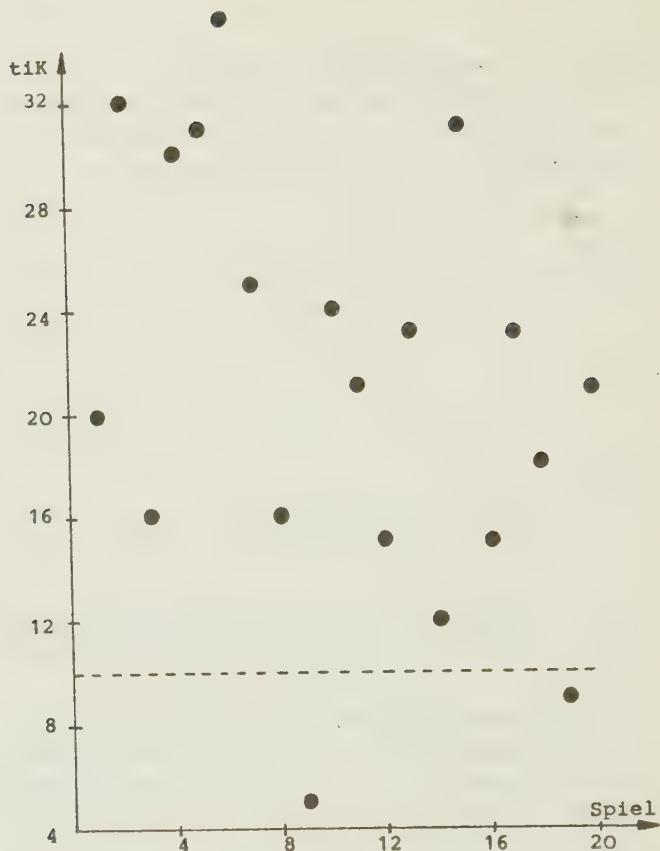


Abb. 33: Vp.8, totale Information tiK für die Kombinationsphase beim n -ten Zug

Bei der Vp.8 streut die totale Information tiK mit einer Standardabweichung $s = 7,3$ stark um den Mittelwert $\overline{tiK} = 22$, der den Minimalwert von 9,9 (gestrichelte Gerade in Abb. 33) um mehr als das Doppelte übersteigt. In Abb. 33 liegen neben den Spielen Nr. 5 und 6 (mit Spielunterbrechung - vgl. Kap. 5.1.1. und Abb. 15) drei weitere Spiele oberhalb $tiK = 29$, dem höchsten (!) - vgl. Abb. 30) Wert der Vp.3, die Fähigkeit zum Kombinieren schwankt dementsprechend stark bei der Vp.8, obwohl die Anzahl $\bar{e} = 1,43$ der in der Endphase benötigten Züge nach Abb. 18 eher gering ist.

Die Informationsdichten bzgl. der Kombinationsphase in der Anfangsphase IKD(a) sind in Abb. 34a und die beim letzten Zug IKD(n-1) in Abb. 34b für die Vp.8 eingetragen; der mittlere Informationsgehalt $I(x) = 2,7$ (bei stochastisch unabhängig voneinander erfolgenden Zügen) ist gestrichelt eingezeichnet.

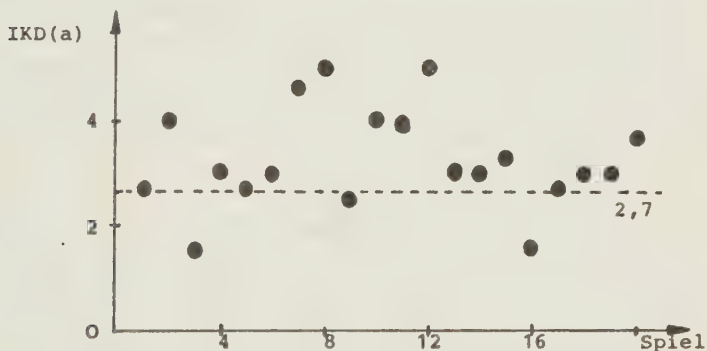


Abb. 34a: Vp.8, Informationsdichte IKD(a) in der Anfangsphase bzgl. der Kombinationsphase

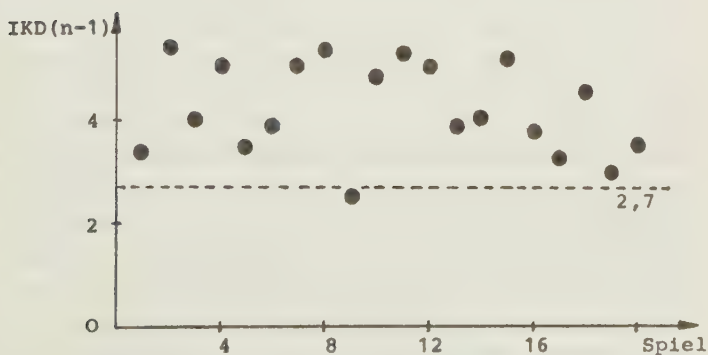


Abb. 34b: Vp.8, Informationsdichte IKD(n-1) beim letzten Zug bzgl. der Kombinationsphase

Die durchschnittliche Informationsdichte $\overline{IKD(a)} = 3,4$ ($s = 0,8$) in der Anfangsphase bzgl. der Kombinationsphase liegt bei der Vp.8 um ca. 0,7 über dem (stochastischen) Erwartungswert $I(x) = 2,7$ (gestr. Gerade in Abb. 34) und steigt beim letzten Zug auf $\overline{IKD(n-1)} = 4,3$ ($s = 0,8$) um den Wert 0,9 an. Ähnlich wie z.B. bei der Vp.3 erhöht sich bei der Vp.8 der Informationsgehalt der einzelnen Anzeigen für die Kombinationsphase des Problemlösungsprozesses $IKD(a)$ schon in der Anfangsphase gegenüber dem mittleren Informationsgehalt $I(x)$ nach Kap. 3.7. bei stochastisch unabhängig voneinander erfolgenden Zügen, die vorliegende Information wird bereits in der Anfangsphase entsprechend (kombinatorisch) verwertet.

Der Analyse des Protokollbogens der Vp.8 ist zu entnehmen, dass sich ihre in der Anfangsphase des Problemlösungsprozesses angewandten Strategien vom Spiel Nr. 6 an ändern. Während zu Beginn der Spielserie zumindest eine Ziffer des ersten Zuges im nachfolgenden zweiten wieder erscheint (und mit Einschränkung systemtheoretisch optimal gespielt wird - ähnlich wie von Vp.3: z.B. folgt bei Vp.8 im 4. Spiel auf den ersten Zug '1234' mit der Anzeige '1.1' der Zug '5246'), sind vom 6. Spiel an die ersten beiden Züge insofern unabhängig voneinander, dass keine Ziffer des ersten Zuges im zweiten wiederholt wird. Im dritten Zug setzt dann bei der Vp.8 der Informationsverwertungsprozess derart ein, dass sie eine Ziffernkombination wählt, auf die die bedingenden ersten beiden Züge (samt Anzeigen) zutreffen: z.B. folgt im 7. Spiel auf den ersten Zug '6789' mit der Anzeige '1.1' der zweite '2345' mit der Anzeige '2.0'; beim dritten Zug '6347' kombiniert Vp.8 die aus den ersten beiden Zügen erhaltenen Informationen über die gesuchte Geheimzahl (vgl. Kap. 4.3.); eine nach den Zügen Nr.1 und 2 mögliche Ziffernkombination wird in den Rechner eingetastet. Damit ist der anfängliche Problemlösungsprozess standardisiert und läuft schematisch ab.

Um die Versuchsergebnisse dieses Kap. 5.1.3. zusammenfassend darzustellen, ist zunächst in Abb. 35 die durchschnittliche totale Information $\overline{tiK}$ für die Kombinationsphase beim n -ten Zug wiedergegeben. Die jeweilige Standardabweichung ist als Fehlerbalken nach oben und unten aufgetragen und die minimale mittlere totale Information mit dem Wert 9,9 ($n-1 = 3,7$) gestrichelt eingezeichnet.

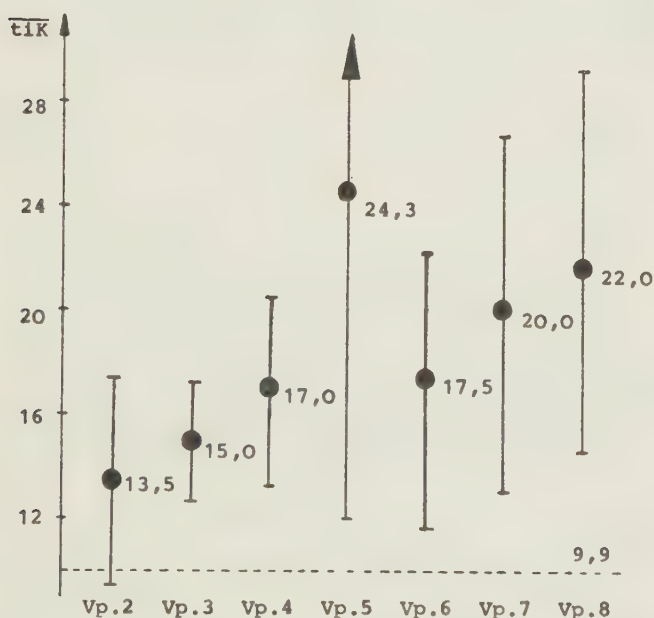


Abb. 35: Durchschnittliche totale Information $\overline{tiK}$ bzgl. der Kombinationsphase in der vorliegenden Information beim letzten Zug

Innerhalb der untersuchten Stichprobe aus dem Hochschulbereich liegt $\overline{tiK}$ etwa das 1,4- bis 2,5-fache über der bei $n-1 = 3,7$ Zügen benötigten Minimalinformation (gestr. Gerade in Abb. 35). Mit wachsendem $\overline{tiK}$ wird i.a. auch die Streuung (Fehlerbalken in Abb. 35) grösser (bis auf Vp.2).

Die durchschnittlichen Informationsdichten bzgl. der Kombinationsphase sind in Abb. 36a für die Anfangsphase ($\overline{\text{IKD}(\bar{a})}$), in Abb. 36b für die Übergangsphase ($\overline{\text{IKD}(\bar{u})}$), in Abb. 36c beim Erreichen der Endphase ($\overline{\text{IKD}(\bar{a}+\bar{u})}$) und in Abb. 36d für den letzten Zug im Problemlösungsspiel Kodebrecher eingetragen. Die Standardabweichungen nach oben und unten werden durch die Fehlerbalken und der mittlere Erwartungswert $I(x) = 2,7$ nach Glg. (27) (bei stochastisch unabhängig voneinander erfolgenden Zügen) durch die gestrichelten Geraden in Abb. 36 wiedergegeben.

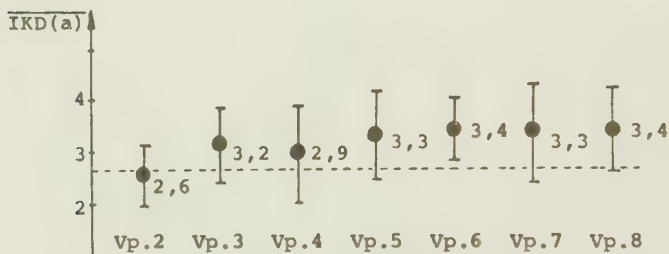


Abb. 36a: Durchschnittliche Informationsdichte $\overline{\text{IKD}(\bar{a})}$ bzgl. der Kombinationsphase in der Anfangsphase



Abb. 36b: Durchschnittliche Informationsdichte $\overline{\text{IKD}(\bar{u})}$ bzgl. der Kombinationsphase in der Übergangsphase

Die durchschnittliche Informationsdichte bzgl. der Kombinationsphase liegt i.a. (bis auf Vp.2) bereits in der Anfangsphase um etwa 0,6 über $I(x)$, was auf höherwertige Problemlösungsstrategien als die Suchraumeinengung durch reine Schnittmengenbildung entsprechend Abb. 4 schliessen lässt (vgl. auch Kap. 5.1.2. und Abb. 29a), und steigt in der Übergangsphase deutlich auf $\overline{IKD(u)} \approx 3,6$ bei allen Vp. dieser Stichprobe an. Die eingetragenen Standardabweichungen unterschreiten meistens die aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz nach Tab. 1 und Tab. 3 entsprechend Kap. 3.7. berechneten Werte.



Abb. 36c: Durchschnittliche Informationsdichte $\overline{IKD(a+u)}$ bzgl. der Kombinationsphase beim Erreichen der Endphase



Abb. 36d: Durchschnittliche Informationsdichte $\overline{IKD(n-1)}$ bzgl. der Kombinationsphase beim letzten Zug

Die durchschnittliche Informationsdichte bzgl. der Kombinationsphase liegt nach Abb. 36c beim Erreichen der Endphase i.a. bei $\overline{\text{IKD}(a+u)} = 3,4$ (bis auf Vp.2 mit $\overline{\text{IKD}(a+u)} = 2,7$) und steigt um etwa 0,4 auf ca. $\overline{\text{IKD}(n-1)} = 3,8$ nach dem n-1.-ten Zug an (bei Vp.2 auf $\overline{\text{IKD}(n-1)} = 3,1$; vgl. Abb. 36d).

Während bei der Vp.2 die durchschnittliche Informationsdichte $\text{ID}(a)$ um $H(x) = 2,83$ (vgl. Abb. 22a und Abb. 29a), und $\text{KID}(a)$ um $I(x) = 2,7$ (vgl. Abb. 32 und Abb. 36a) in der Anfangsphase streut, liegt bei der Vp.5 zwar $\text{ID}(a)$ und $\text{ID}(u)$ im Mittel nur knapp über $H(x)$ (vgl. Abb. 26a,b und 29a), die Informationsdichten bzgl. der Kombinationsphase $\overline{\text{KID}(a)}$ und $\overline{\text{KID}(u)}$ überschreiten jedoch deutlich $I(x)$ (vgl. Abb. 36a,b,c). Die Strategien der beiden Problemlöser Vp.2 und Vp.5 in der Anfangsphase unterscheiden sich somit darin, dass beide zwar mit stochastisch unabhängig erfolgenden Zügen im Sinne von Kap. 3.5.1. den Suchraum einschränken, die Informationsdichte bzgl. der Kombinationsphase $\text{IKD}(a)$ jedoch im Gegensatz zu der Vp.2 von der Vp.5 (aktiv) erhöht wird. Mit anderen Worten schafft Vp.2 keine zusätzliche Information für die Endphase (vgl. Abb. 36a) in der Anfangsphase.

5.1.4. Ausblick auf den Anwendungsbereich

In den vorangegangenen Kap. 5.1.1. - 5.1.3. ist menschliches Problemlösungsverhalten bei Codebrecher in einer eigens entwickelten mathematischen Terminologie entsprechend den Modellvorstellungen von Kap. 3. beschrieben und skaliert worden. Die aus der verwendeten systemtheoretischen Sprache abgeleiteten abstrakten Begriffe - wie Informationsgehalt etc. - sind so universell einsetzbar, dass mit ihnen - vollkommen unabhängig von der verbalisierten Vorstellungswelt des Problemlösers - das Spielgeschehen

minuziös widergespiegelt zu werden vermag. Die erfassten Grössen sind interpersonell unmittelbar miteinander vergleichbar, und der Einsatz solcher und ähnlicher Verfahren wie Kodebrecher bietet sich damit - bei ausreichender Validierung - als Teil einer Eignungstestbatterie an.

Aus der Konstanz der ermittelten Parameter (über jeweils eine Spielserie) ergibt sich sofort die faszinierende Möglichkeit, direkten Aufschluss über den Prozess der kognitiven Informationsverarbeitung zu gewinnen, indem das Problemlösungsverhalten an einer Versuchsperson unter verschiedenen Versuchsbedingungen studiert wird, und die Änderungen der Kenngrössen eruiert werden. Auch zeitliche Veränderungsreihen (z.B. durch sukzessive Alkoholzugabe) können so analysiert werden, obwohl der Problemlösungsprozess bei Kodebrecher eo ipso gequantelt ist.

Mit kapazitätsstärkeren Rechnern kann ohne weiteres die Zeit zwischen den einzelnen Zügen gestoppt und so über diesen Parameter der Begriff 'kognitive Leistung' eingeführt werden, der die Qualität der kognitiven Prozesse in Abhängigkeit von der Informationsverarbeitungszeit sukzessiv in jedem Stadium des Problemlösungsverhaltens erfassen könnte. In diesem Zusammenhang interessant wäre es dann auch, die Versuchsanweisung insofern abzuwandeln, dass nicht (wie bisher) die Anzahl der Züge, sondern die Problemlösungszeit durch die Versuchspersonen minimiert werden soll. Dies erfordert einen schnellen Rechner, damit die Totzeit zwischen Eintasten des Zuges und der Rückmeldung des Rechners (rechnerinterne Verarbeitungszeit) möglichst kurz gehalten wird (Randbedingung: Problemlösungszeit $\gg (n - 1) \times \text{Totzeit}$).

5.2. Zur direkten Skalierung der subjektiven Information

In den folgenden Kap. 5.2. - 5.4. werden - auf der Grundlage des in den Versuchspersonen etablierten inneren Abbildes der äusseren Problemstruktur von Kodebrecher - subjektive Eindrücke über geeignete Teilbereiche des systemtheoretischen Modells erfasst und mit entsprechenden informationstheoretischen Parametern verglichen. Einige konkrete Fragestellungen in dieser Richtung würden etwa so lauten: Kann der Problemlöser die durch den Rechner vermittelte Information adäquat einschätzen, wie sieht der Zusammenhang zwischen subjektiven und objektiven Grössen aus, gibt es interpersonelle Gemeinsamkeiten bei den inneren Abbildern, tritt ein Lerneffekt auf etc. ?

Grundlage aller subjektiven Einschätzungen ist die während und durch die (protokollierten) Problemlösungsspiele gewonnene Erfahrung. Damit besteht prinzipiell die Möglichkeit, für jede einzelne Versuchsperson Kenngrössen ihres eigentlichen Spieles mit Parametern ihrer eigenen subjektiven Einschätzung zu korrelieren.

In Kap. 5.3. schätzt ein und dieselbe Versuchsperson die Auftretenswahrscheinlichkeiten von Anzeigen und ihre Informationsgehalte ein, und in Kap. 5.4. werden bei ein und demselben Problemlöser sowohl Absoluturteile als auch Ähnlichkeitsurteile über Anzeigen bzgl. ihres Informationsgehaltes erhoben. Bei konstanten Personenparametern können so Interdependenzen zwischen den aufgenommenen Daten eruiert und funktionale Beziehungen zwischen subjektiven Grössen ermittelt werden. Diese Art des Vorgehens erlaubt es auch, implizite Modellannahmen über das Phänomen der Ähnlichkeitsbeurteilung sowie über den Zusammenhang zwischen subjektiver Information und subjektiver Wahrscheinlichkeit experimentell zu überprüfen.

5.2.1. Subjektive Information auf Rangreihenskallenniveau

Die Einschätzung des subjektiven Informationsgehaltes der einzelnen Anzeigen (vgl. Kap. 5.3.) fällt den untersuchten Problemlösern schwer, und bereits die Erstellung einer Rangreihe bzgl. des Informationsgehaltes nach dem ersten Zug (vgl. Kap. 4.3.1.) ist nur den Vp.1, 3, 6, 7 und 8 (vgl. Tab. 5) möglich. Bei den übrigen Problemlösern ist der Versuchsleiter nach kurzen Erörterungen der aufkommenden Schwierigkeiten und mehreren Anläufen der jeweiligen Versuchsperson direkt zur Nachexploration des Problemlösungsverhaltens übergegangen.

In Tab. 6 ist zunächst die (objektive) Rangreihe bzgl. des Informationsgehaltes der Anzeigen nach dem ersten Zug für die Suchraumeinschränkung aufgrund der Auftretenswahrscheinlichkeiten (vgl. Kap. 3.4.) entsprechend Tab. 1 und Tab. 2 wiedergegeben. Dieser Auflistung ist der Rangplatz der subjektiven Bewertung der einzelnen Anzeigen bzgl. ihres Informationsgehaltes nach dem ersten Zug durch die Problemlöser gegenübergestellt:

/A/: Vp.1 nach 11 Spielen der Spielserie von Abb. 10

/B/: Vp.3 nach 100 Spielen im Anschluss an die Spielserie von Abb. 8 und vor Beginn der Spielserie von Abb. 9

/C/: Vp.3 nach einjähriger Spielunterbrechung nach '/C/' und vor Beginn der Spielserie von Abb. 9

/D/: Vp.3 nach einjähriger Spielunterbrechung und den 20 Spielen der Abb. 9, 19, 20 und 31

/E/: Vp.6 nach etwa 100 Spielen

/F/: Vp.7 nach 5 Spielen

/G/: Vp.7 nach 10 Spielen (und '/F/')

/H/: Vp.8 nach dem Spiel Nr.2 der Spielserie von Abb. 15, 23, 24, 33 und 34

/I/: Vp.8 nach 20 Spielen (vgl. '/H/')

Tab. 6: Rangfolge des obj. und Rangplätze des subj. Informationsgehaltes der Anzeigen nach dem ersten Zug; Rangkorrelationskoeffizient r_s nach Spearman.

<u>Obj. Rangfolge</u> <u>der Anzeigen</u>	<u>Rangplätze des subj. Informationsgehaltes</u>								
	<u>/A/</u>	<u>/B/</u>	<u>/C/</u>	<u>/D/</u>	<u>/E/</u>	<u>/F/</u>	<u>/G/</u>	<u>/H/</u>	<u>/I/</u>
1.-----4.0	1	1	1	1	1	1	1	2	1
2.-----2.2	3	2	2	2	2	4	2	4,5	3
3.-----1.3	6	5	3	3	3	5	3	4,5	4
4.-----0.4	10	6	4	4	5	3	4	2	5
5.-----3.0	2	3	5	5	4	2	5	7,5	2
6.-----2.1	4	4	6	6	6	7	6	7,5	7
7,5.---2.0	5	7	10	8	9	10	10	11	10
7,5.---0.0	14	8	8,5	10	7	6	9	2	6
9.-----1.2	7	9	7	7	8	8	7	7,5	8
10.-----0.3	11	10	8,5	9	10	9	8	7,5	9
11.-----1.0	9	12	11	12	12	13	13	13,5	13
12.-----1.1	8	11	12,5	11	11	11	11	11	11
13.-----0.1	13	13	12,5	13	13	14	14	13,5	14
14.-----0.2	12	14	14	14	14	12	12	11	12
Rangkorr.- Koeff. r_s	57%	96%	97%	97%	98%	91%	96%	78%	91%

Der Rangkorrelationskoeffizient r_s in Tab. 6 zwischen der informationstheoretischen (linke Spalte in Tab.6) und der subjektiven Rangreihe ist nach Spearman (vgl. Siegel, Sidney (56): nonparametric statistics for the behavioral sciences, S. 202 ff.) berechnet worden.

Während in Kap. 5.1. das Problemlösungsverhalten der einzelnen Versuchspersonen bei Kodebrecher anhand von sukzessiv aufeinander folgenden Entscheidungsprozessen (unter Unsicherheit - vgl. Abb. 5a und 5b) in den Protokollbögen untersucht wird (der Mensch-Maschine-Dialog somit systemtheoretisch direkt erfasst wird), steht in diesem Kap. 5.2. und in den nachfolgenden Kap. 5.3. und 5.4. die Frage im Vordergrund, inwieweit sich die Problemlöser im Anschluss an den abgeschlossenen Problemlösungsprozess des Informationsgehaltes der Rückmeldungen des Rechners bzw. auch der Auftretenswahrscheinlichkeit der jeweiligen Anzeigen bewusst sind (und dies verbalisieren können).

Nach Tab. 6 ist die Anpassung des subjektiven Informationsgehaltes der Anzeigen nach dem ersten Zug an den objektiven bzgl. der Rangreihenbildung mit einem Rangkorrelationskoeffizienten $r_s > 0,9$ (bis auf Vp.1) bereits nach wenigen erfolgreichen Problemlösungsprozessen sehr gross. (Vp.8 verteilt nach dem zweiten Spiel - '/H/' - die 14 möglichen Anzeigen auf nur 5 Klassen, was den Rangkorrelationskoeffizienten durch den Mittelungsprozeß stark erniedrigt.) Mit zunehmender Erfahrung bei der Überwindung der Interpolationsbarriere im Problemlösungsspiel Kodebrecher steigt der Rangkorrelationskoeffizient leicht an: Bei der Vp.3 von $r_s = 96\%$ ('/B/') nach Abschluss der Spielserie von Abb. 8 (100 Spiele) auf $r_s = 97\%$ ('/D/') im Anschluss an die nachfolgende Spielserie (120 Spiele - vgl. z.B. Abb.9), bei der Vp.7 von $r_s = 91\%$ nach 5 Spielen ('/F/') auf $r_s = 96\%$ nach 10 Spielen ('/G/') und bei der Vp.8 von $r_s = 78\%$ nach 2 ('/H/') auf $r_s = 91\%$ nach 20 Spielen ('/I/') der Spielserie von z.B. Abb. 15 .

Ein Vergleich zwischen Tab. 6 und Abb. 16 zeigt, dass i.a. (bis auf Vp.6) mit wachsendem Korrelationskoeffizienten r_s die Zahl der benötigten Züge $\bar{n}$ bis zur Bestimmung der Geheimzahl abnimmt, somit die Anzahl der redundanten Züge $\bar{u}$ nach Abb. 17 negativ korreliert ist mit dem bewusst wahrgenommenen Informationsgehalt der Anzeigen nach dem ersten Zug.

Die hochmotivierte Vp.3 hat nach etwa 120 Spielen (und '/D/') die Auftretenswahrscheinlichkeit der einzelnen Anzeigen nach dem ersten Zug eingeschätzt (vgl. auch Kap. 5.2.1.). Der Rangkorrelationskoeffizient zwischen der objektiven Auftretenswahrscheinlichkeit $w(M.N)$ nach Tab. 1 und der subjektiven beträgt $r_s = 99\%$ und liegt damit knapp über dem der entsprechenden Skalierung bzgl. des Informationsgehaltes (vgl. '/D/').

Jeder einzelne der in dieser Arbeit studierten Problemlöser aus der Hochschulgruppe gibt an, gerade bei der Skalierung derjenigen Anzeigen mit grösster subjektiver Gewissheit geurteilt zu haben, die nach Tab. 1 die geringsten Auftretenswahrscheinlichkeiten nach dem ersten Zug haben, und dass seine Unsicherheit bei den rangniedrigsten Anzeigen relativ am grössten sei - eine Aussage, die informationstheoretisch zunächst paradox erscheint, da die Wahrscheinlichkeit, bei 20 Spielen eine Anzeige wie '3.0' oder '0.4' nach dem ersten Zug im Display zu erhalten, ausserordentlich klein ist, und mehrere solcher Ereignisse praktisch nie auftreten. Die relative Sicherheit der Versuchspersonen bzgl. der Skalierung bei Anzeigen mit hohem Informationswert kann nicht auf Erfahrungen mit ihnen nach dem ersten Zug zurückgeführt werden, sondern lässt auf einen Bewertungsmechanismus schliessen, der geprägt wird durch den Umgang der Versuchspersonen mit Anzeigen hoher Informationsdichte (vgl. Kap. 5.1.2.) während des Problemlösungsprozesses und insbesondere während der Übergangs- und Kombinationsphase aufgrund von Hypothesenbildung über den Informationsgehalt der Rückmeldungen des Rechners für den Problemlösungsprozess. Der Problemlösungsprozess selbst mit den sich ausbildenden Strategien und Heuristiken (vgl. Kap. 2.5.) bestimmt zum grossen Teil das Beurteilungsverhalten des Problemlösers, der aufgrund seines intrasubjektiven Abbildes der internen Struktur von Kodebrecher den Informationsgehalt der Anzeigen nach dem ersten Zug skaliert.

5.2.2. Quantitative Skalierung auf Intervallskalenniveau:
Die standardisierte subjektive Information sIG

Die Vp.6 und 7 unserer Stichprobe von Tab. 5 sind erfahren im Umgang mit statistischem Material und in der Lage, spontan im Verlauf der Spielserien den subjektiven Informationsgehalt der einzelnen Anzeigen nach dem ersten Zug einzuschätzen (zur Versuchsanweisung vgl. Kap. 4.3.1.), Vp.6 auf einem Rationalskalenniveau und Vp.7 auf einem logarithmischen Intervallskalenniveau ohne definierten Nullpunkt. Nach erwiesener (mathematisch-methodischer) Unfähigkeit zur Ähnlichkeitsskalierung ist mit der (hochmotivierten) Vp.3 zunächst die relative faktorielle Einschätzung an konkreten und leicht erfassbaren Dingen wie den Längenverhältnissen von Bäumen, Gebäuden etc. geübt worden, um anschliessend den mehr abstrakten subjektiven Informationsgehalt des Rechneroutputs quantitativ beurteilen zu lassen.

Die Adäquatheit dieser quantitativen Skalierung überprüft man, indem der Problemlöser nach erfolgter Einschätzung den relativen faktoriellen Unterschied zwischen solchen Anzeigen bzgl. ihres Informationsgehaltes nach dem ersten Zug beurteilt, die mehrere Rangplätze auseinanderliegen. Die relative Abweichung dieser beiden Modalitäten beträgt bei der Vp.3 weniger als 2%, der Skalierungsprozess kann somit als in sich konsistent angesehen werden.

Zur Standardisierung der auf Intervallskalenniveau abgegebenen Urteile wird in diesem Kap. 5.2.2., wie in der Versuchsanweisung von Kap. 4.3.1. beschrieben, zunächst der subjektive Informationsgehalt der Anzeige '4.0' mit 100% angesetzt ($sIG(4.0) = 100\% = oIG(4.0)$) und die übrigen Werte über die faktorielle Einschätzung berechnet; der subj. Informationsgehalt sIG der Anzeigen nach dem ersten Zug entsprechend dieser Standardisierungsvorschrift ist in den Abb. 29, 30 und 32 aufgetragen gegen den prozentualen objekt. Informationsgehalt oIG (vgl. Kap. 3.6.) nach Tab.2.

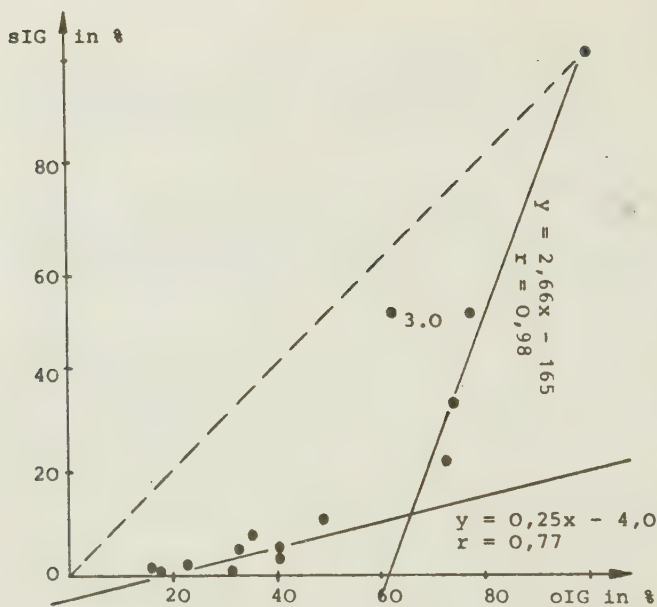


Abb. 29a: Vp.7 nach 5 Spielen, subjektiver Informationsgehalt sIG nach dem 1. Zug

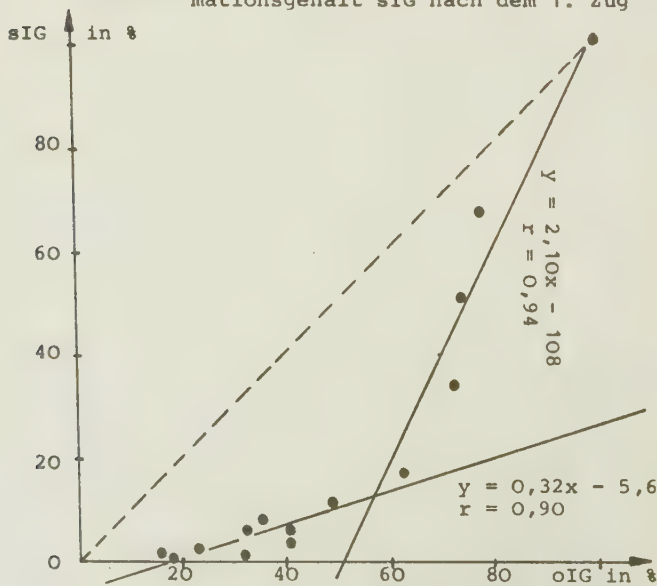


Abb. 29b: Vp.7 nach 10 Spielen, sIG

In Abb. 29 ist der von der Vp.7 subjektiv empfundene Informationsgehalt sIG der einzelnen Anzeigen nach dem 1. Zug aufgetragen gegen den entsprechenden objektiven, und zwar in Abb. 29a nach 5 und in Abb. 29b nach 10 Spielen mit der programmierten Version des Problemlösungsspieles Kodebrecher (vgl. '/F/' und '/G/' in Tab. 6). Die gestrichelten Geraden in Abb. 29 - 31 stellen die Winkelhalbierende durch den Nullpunkt mit der Steigung '1' dar. Wegen des Abbruchkriteriums Gl.(18) auf S.64 wurden zwei Ausgleichsgeraden berechnet (vgl. Tab.2 auf S.71), die durchgezogen eingetragen sind; der jeweilige lineare Korrelationskoeffizient r bezieht sich auf die zugehörige Funktion erster Ordnung. Statt 'oIG' wird abkürzend auch 'x' und für 'sIG' auch 'y' geschrieben.

Alle Wertepaare (bis auf '4.O') liegen in Abb. 29 unterhalb der Winkelhalbierenden $sIG = oIG$; der Informationsinhalt derjenigen Anzeigen wird also permanent unterschätzt, die rangniedriger als '4.O' sind; insbesondere die 8 rangniedrigsten Anzeigen werden mit sIG zwischen 0,7% und 8% skaliert, während der objektive Informationsgehalt oIG von 16% auf 42% anwächst. Nach anfänglich geringer Steigung $\frac{dy}{dx} < 0,4$ steigt der Graph in Abb. 29 bzgl. des Informationsgehaltes der Anzeigen nach dem ersten Zug steil auf $\frac{dy}{dx} > 2$ an.

Zum Bewertungsmechanismus entsprechend der Skalierung von Abb. 29a gibt die Vp.7 an, dass sie Aussagen über die richtige Stellung der Ziffern der eingegebenen Zahlenfolge (1. Ziffer der Anzeige) höher gewichte als über das ausschliessliche Enthaltensein an der falschen Stelle (2. Ziffer der Anzeige nach dem Punkt). Aus diesem Grund wird die Anzeige '0.O' bzgl. ihres Informationsgehaltes unter- und '3.O' stark überschätzt (vgl. auch '/F/' in Tab. 6).

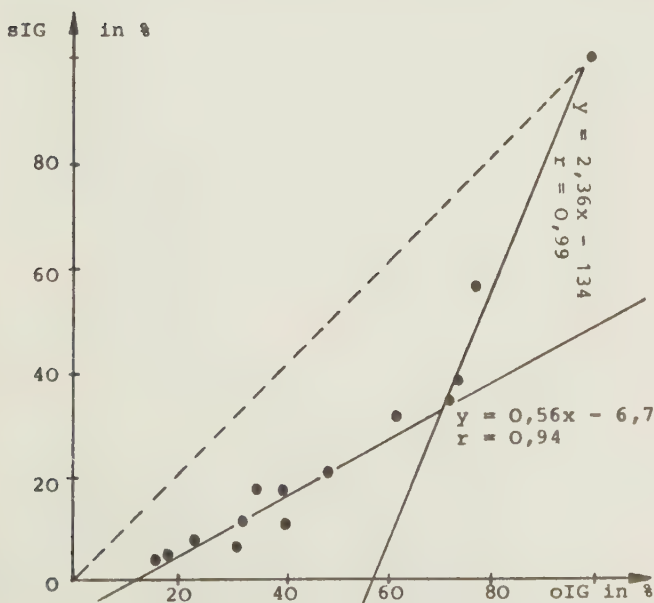
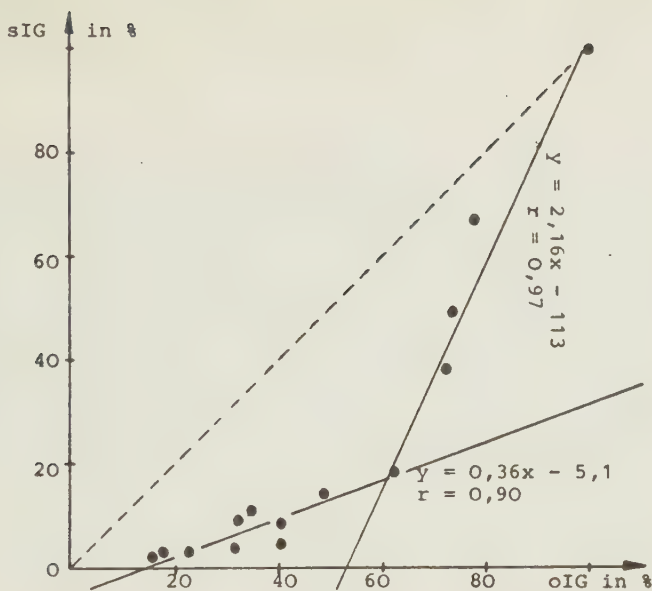
Mit zunehmender Spielerfahrung geht diese unadäquate Einschätzung zurück, und der Korrelationskoeffizient steigt von $r = 0,77$ nach 5 Spielen (Abb. 29a) bei der Vp.7 auf $r = 0,90$ nach 10 Spielen (Abb. 29b). Die Steigung der Ge-

raden im Anfangsteil des Graphen wächst um etwa 30% von 0,25 auf 0,32 an; im Verlauf der Spielserie nähert sich die Kurve (leicht) der Winkelhalbierenden, und die Unterschätzung von Anzeigen mit kleinem Informationsgehalt nimmt (geringfügig) ab.

In Abb. 30a ist der subjektive Informationsgehalt der Anzeigen nach dem ersten Zug (sIG) für die Vp.3 nach 100 Spielen und einjähriger Spielunterbrechung und in Abb. 30b sIG für die Vp.3 im Anschluss an die Spielserie von Abb. 9 nach 120 Spielen aufgetragen gegen den objektiven (informationstheoretischen) Informationsgehalt oIG. (Vgl. auch '/F/' und '/G/' in Tab. 6 .)

Der Verlauf des Graphen von Abb. 30a ist praktisch identisch mit dem von Abb. 29b für die Vp.7 nach 10 Spielen: Nach anfänglich geringer Steigung $\frac{dy}{dx} < 0,4$ und starker Unterschätzung des Informationsgehaltes von Anzeigen mit relativ geringem Informationswert steigt die Kurve im Viererspiel steil an ($\frac{dy}{dx} > 2$). Nach 20 Eingewöhnungsspielen (Vp.3 benötigt zu Beginn der Spielserie von Abb. 9 noch etwa 25 Minuten bis zur Überwindung der Interpolationsbarriere in Kodebrecher, während der Problemlösungsprozess ab Spiel Nr. 11 i.a. weniger als 6 Minuten dauert) wird der Informationsgehalt der Anzeigen mit niedrigem Informationswert in Abb. 30b höher beurteilt als in Abb. 30a, und die Steigung der Ausgleichsgeraden im Anfangsteil des Graphen wächst um mehr als 50% von 0,36 (Abb. 30a) auf 0,56 (Abb. 30b) an - eine Tendenz, die auch bei der Vp.7 im Übergang von Abb. 29a nach Abb. 29b mit zunehmender Spielerfahrung festzustellen ist.

In Kap. 5.2.1. wird die - informationstheoretisch erstaunliche - Sicherheit der Problemlöser bei der Skalierung der Anzeigen bzgl. ihres Informationsgehaltes nach dem ersten Zug in einer Rangreihe im ranghöchsten Bereich zurückgeführt auf den Prozess der Hypothesenbildung während der Problembewältigung. In Abb. 31 ist der objektive



Informationsgehalt oKIG für die Kombinationsphase nach Tab. 3 in Kap. 3.7. aufgetragen gegen den objektiven (informationstheoretischen) Informationsgehalt oIG bei stochastisch unabhängig voneinander erfolgenden Zügen nach Tab. 2 in Kap. 3.6. . Im Viererspiel skalieren die Problemlöser die Anzeigen (vgl. sIG in Abb. 29, 30 und 32) nach ihrem Informationsgehalt oKIG für die Kombinationsphase (vgl. Abb. 31), die Verteilung der entsprechenden Wertepaare ist ähnlich, und die Steigungen der Ausgleichsgeraden sind nahezu gleich.

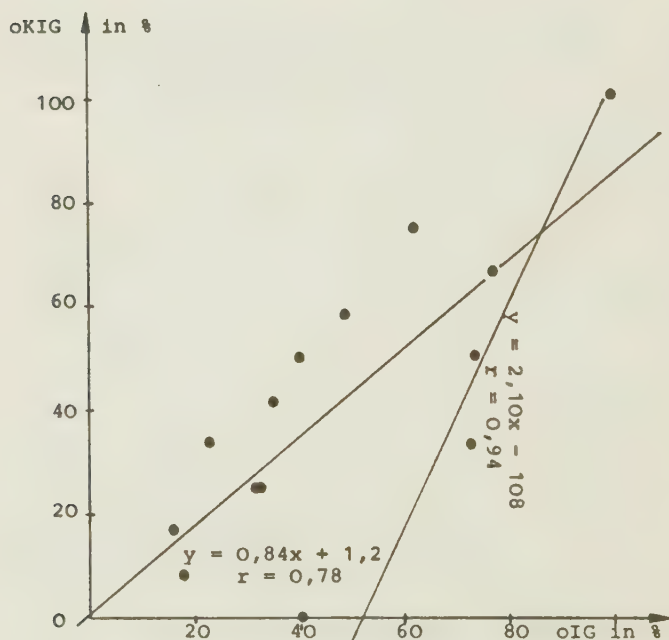


Abb. 31: Objektiver Informationsgehalt der Anzeigen in der Kombinationsphase (oKIG) gegenüber dem in der Anfangsphase (oIG)

Zusammenfassend gesagt erfassen die untersuchten Problemlöser mit wachsender Spielerfahrung den Informationsgehalt der Anzeigen nach dem ersten Zug (sIG) adäquater (vgl. auch den Anstieg des Rangkorrelationskoeffizienten r_s in Kap. 5.2.1.): Die Steigung der Ausgleichsgeraden und ihr linearer Korrelationskoeffizient nehmen zu. Der Informationsgehalt von Anzeigen mit geringem Informationswert wird relativ am meisten unterschätzt: Die Ausgleichsgerade schneidet die Abzisse nicht im Nullpunkt, sondern in einem Intervall zwischen oIG = 10% und oIG = 20%. Dieser Schnittpunkt verschiebt sich mit zunehmender Spielerfahrung nach links (zum Nullpunkt) hin, was eine Abnahme der Unterschätzung häufiger Anzeigen durch die Problemlöser bei gleichzeitigem Anwachsen der Steigung bewirkt.

Die Verteilung des in Abb. 32 aufgetragenen subjektiven Informationsgehaltes sIG der Anzeigen nach dem ersten Zug für die Vp.6 nach etwa 100 Spielen entspricht der der Vp.3 in Abb. 30b, wie auch die Rangkorrelationskoeffizienten in Tab. 6 (r_s (/E/) = 98% und r (/D/) = 97%) nahe beieinander liegen.

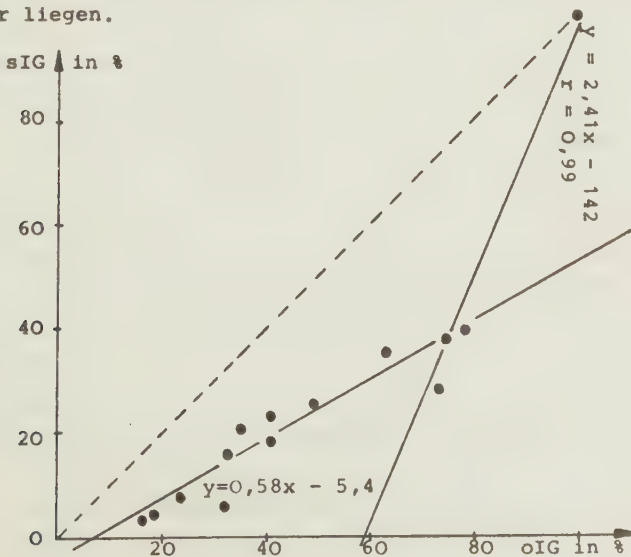


Abb. 32: Vp.6 nach 100 Spielen, sIG

5.2.3. Quantitative Skalierung auf Intervallskalenniveau: Der normierte subjektive Informationsgehalt I_g

Im vorangegangenen Kapitel werden der subjektive und objektive Informationsgehalt standardisiert durch den relativen faktoriellen Bezug auf die Anzeige '4.0' mit 100% bei der quantitativen Skalierung auf Intervallskalenniveau. Ein grundsätzlich anderes mathematisches Verfahren der Normierung zur adäquaten Erfassung, Verarbeitung und Beschreibung der Daten bzgl. des subjektiven Informationsgehaltes wird in diesem Kap. 5.2.3. vorgestellt, das die Darstellung des subjektiven Informationsgehaltes in der Einheit 'bit' gestattet.

Wir bezeichnen mit q_1 die subjektive Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Ereignisses '1', das die objektive Auftretenswahrscheinlichkeit w_1 besitzt. Bei dem in der vorliegenden Arbeit untersuchten Problemlösungsspiel Kodebrecher stellen die auf den ersten Zug folgenden möglichen Rückmeldungen des Rechners für den Problemlöser (überschaubare) Alternativereignisse dar, so dass analog zur objektiven (vgl. Kap. 3.4.1.) auch für die subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeiten des Ereignisses '1' einer bestimmten Anzeige nach dem ersten Zug zu fordern ist, dass ihre Summe den Wert '1' ergibt:

$$(28) \quad \sum_{i=1}^{14} q_i = \sum_{i=1}^{14} w_i = 1 \quad ;$$

q_1 = subjektive Auftretenswahrscheinlichkeit der Anzeige '1' ,

w_1 = objektive Auftretenswahrscheinlichkeit der Anzeige '1' .

Mit der Definition des subjektiven Informationsgehaltes

$$(29) \quad I_s(i) = - \lg q_i$$

(vgl. z.B. Frank (69): Kybernetische Grundlagen der Pädagogik) und Glg. (28) lässt sich die subjektive Auftretenswahrscheinlichkeit q_i der Anzeige 'i' normieren und der subjektive Informationsgehalt $I_s(i)$ in 'bit' angeben:

Aus Glg. (29) und der relativen faktoriellen Einschätzung der in der Rangreihe aufeinanderfolgenden Informationsgehalte ($I_s(i+1) - I_s(i)$; $i = 1, \dots, 13$) der Anzeigen nach dem ersten Zug (vgl. Kap. 4.3.1.)

$$(30) \quad \frac{I_s(i+1)}{I_s(i)} = \frac{\lg q_{i+1}}{\lg q_i} := a_{i+1}$$

$$(i = 1, \dots, 13)$$

folgt für die subjektive Wahrscheinlichkeit der Anzeige 'i+1' nach dem ersten Zug die Rekursionsformel

$$(31) \quad q_{i+1} = (q_1)^{a_{i+1}} .$$

Bezogen auf die subjektive Auftretenswahrscheinlichkeit der rangniedrigsten Anzeige ergibt sich mit Glg. (31)

$$(32) \quad q_{i+1} = (q_1)^{\prod_{k=2}^{i+1} a_{k+1}}$$

$$(i = 1, \dots, 13) .$$

Mit Glg. (28) folgt aus Glg. (32) für q_1 die Bedingung

$$(33) \quad q_1 + \sum_{i=2}^{14} (q_1)^{\prod_{k=2}^i a_k} = 1 ;$$

Glg. (33) stellt formal ein Polynom in q_1 (mit gebrochenem Exponenten) dar :

$$(33') \quad q_1 + (q_1)^{a_2} + (q_1)^{a_2 a_3} + \dots = 1 ,$$

das sich mit Glg. (32) sofort in die Form von Glg. (28) umschreiben lässt:

$$(33'') \quad q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_{14} = 1 .$$

Die Bedingungsgleichung (33) ist nicht elementar nach der subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeit q_1 der rangniedrigsten Anzeige auflösbar. Aus diesem Grund wird in einem programmierten Iterationsverfahren q_1 so lange variiert, bis die Bedingung in Glg. (33) (d.i. der rechte Term mit dem Wert '1') auf mindestens 0,005 % genau erfüllt ist. Die ranghöheren subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeiten q_{i+1} ($i = 1, \dots, 13$) lassen sich entsprechend der Glg. (32) berechnen und die subjektiven Informationsgehalte $I_s(i)$ ($i = 1, \dots, 14$) der Rückmeldungen des Rechners nach dem ersten Zug für den Problemlöser in der Einheit 'bit' angeben.

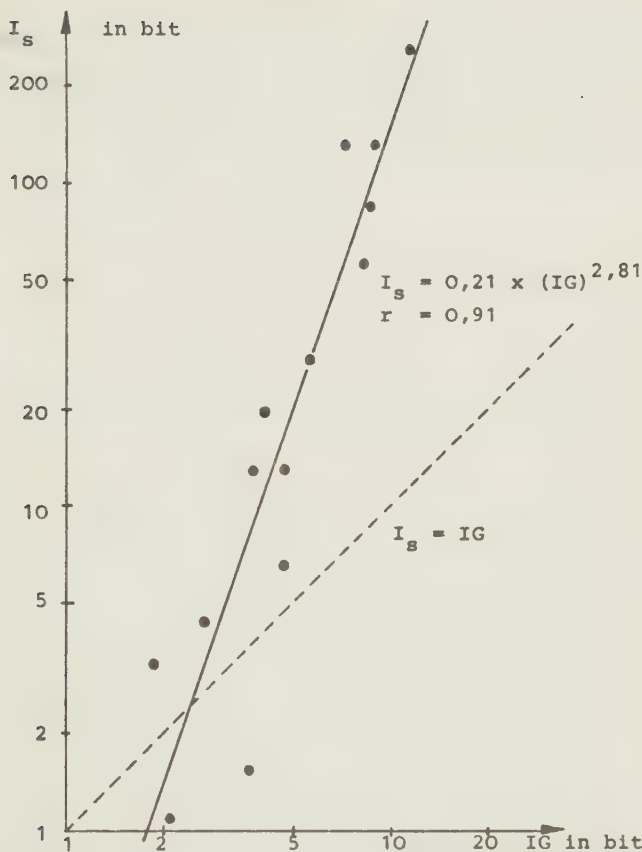


Abb. 33a: Vp.7 nach 5 Spielen, subjektiver Informationsgehalt I_s

In den Abb. 33 - 35 ist der normierte subjektive Informationsgehalt I_s der Anzeigen nach dem ersten Zug aufgetragen gegen ihren objektiven Informationsgehalt IG entsprechend Tab. 2 in Kap. 3.6.; die Winkelhalbierende $I_s = IG$ ist gestrichelt eingetragen.

Die Werte s_{IG} der Abb. 29a für die Vp.7 nach 5 Spielen werden entsprechend der Glg. (33) umgerechnet in normierte Informationsgehalte I_s und sind in Abb. 33a eingezeichnet; in Abb. 33b ist I_s für die Vp.7 nach 10 Spielen entsprechend den Daten der Abb. 29b wiedergegeben.

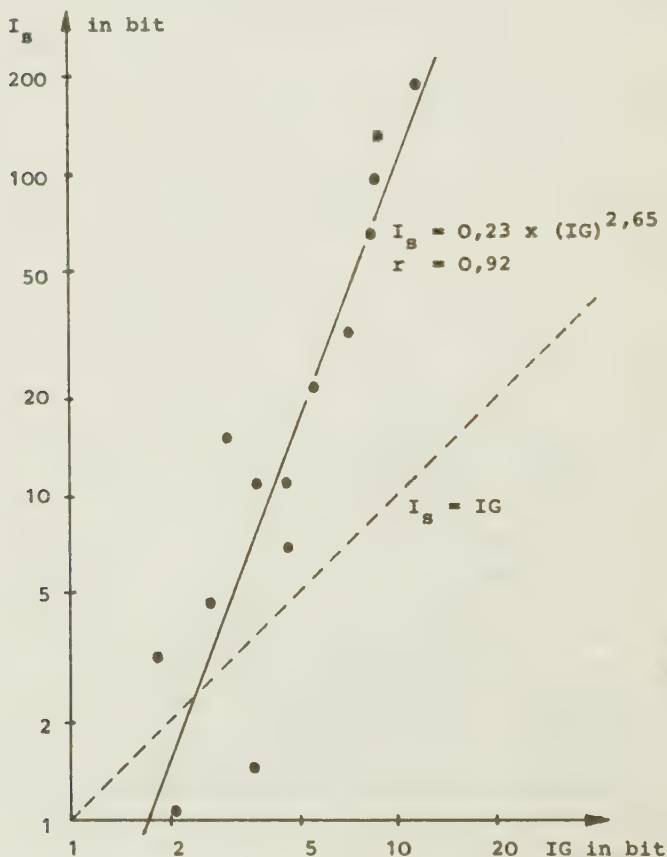


Abb. 33b: Vp.7 nach 10 Spielen, subjektiver Informationsgehalt I_s

Die Wertepaare der Abb. 33 - 35 streuen bei doppeltlogarithmischer Auftragung mit einem linearen Korrelationskoeffizienten $r > 0,9$ gering um ihre Ausgleichsgerade. Der funktionale Zusammenhang zwischen dem subjektiven (I_s) und objektiven Informationsgehalt (IG) der Anzeigen wird durch folgende Exponentialgleichung mit dem Koeffizienten a und dem Exponenten b beschrieben:

$$(34) \quad I_s = a(IG)^b \quad ;$$

a und b sind konstante Personenparameter zum Zeitpunkt der Datenerhebung, durch Lerneffekte jedoch variabel (vgl. Abb. 36).

Oberhalb der Winkelhalbierenden $I_s = IG$ werden die Anzeigen nach dem ersten Zug bzgl. ihres Informationsgehaltes von den Problemlösern zu hoch und unterhalb von ihr zu gering skaliert. Die Schnittpunkte der Winkelhalbierenden mit den Ausgleichsgeraden liegen in den Abb. 33 - 35 bei ca. $I_s = IG = 2,48$ bit (rel. Standardabweichung $s = 6\%$) sehr weit links, die meisten (ranghöheren) Anzeigen werden bzgl. ihres Informationsgehaltes wesentlich überschätzt.¹

¹ Anm.: Dieser Kurvenverlauf ist mathematisch direkt auf die Normierungsbedingung (28) und die Definitionsgleichung (29) für I_s zurückzuführen. Die subjektive Entropie H_{sub} ist als mittlerer subjektiver Informationsgehalt

$$(35) \quad H_{sub} = \left| \sum w_1 \lg q_1 \right|$$

(w_1 = objektive und q_1 = subjektive Wahrscheinlichkeit) definiert und muss den objektiven mittleren Informationsgehalt $H(x)$ nach Glg. (24) in Kap. 3.6. immer übersteigen. (Vgl. z.B. H. Stever (71): Zur Ungleichung der mittleren objektiven und mittleren subjektiven Information.)

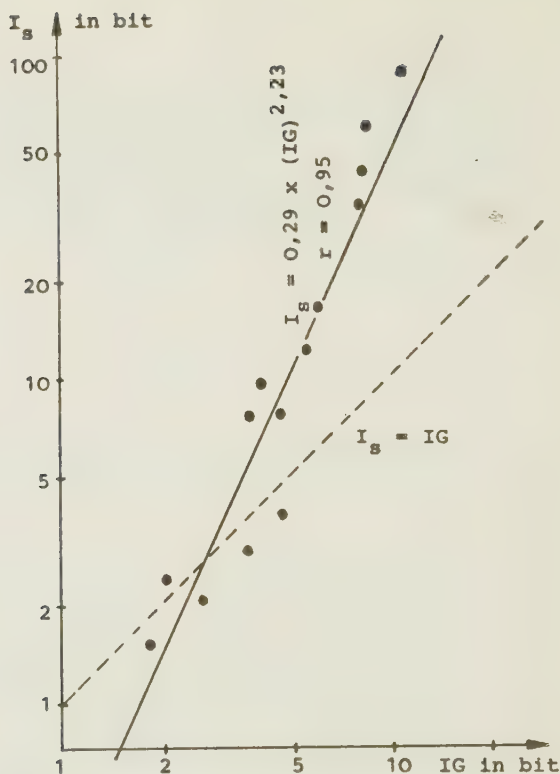


Abb. 34a: Vp.3 nach 100 Spielen und ein-
jähriger Spielunterbrechung,
subj. Informationsgehalt I_s

Der (normierte) subjektive Informationsgehalt I_s der Anzeigen nach dem ersten Zug für die Vp.3 ist in Abb. 34a nach 100 Spielen und einjähriger Spielunterbrechung (entsprechend den Daten von Abb. 30a) und in Abb. 34b (entsprechend den Daten von Abb. 30b) im Anschluss an eine Eingewöhnungsspielserie (vgl. z.B. Abb. 9) aufgetragen gegen den objektiven (informationstheoretischen) Informationsgehalt IG . Die Winkelhalbierende $I_s = IG$ ist gestrichelt in Abb. 34 eingezeichnet.

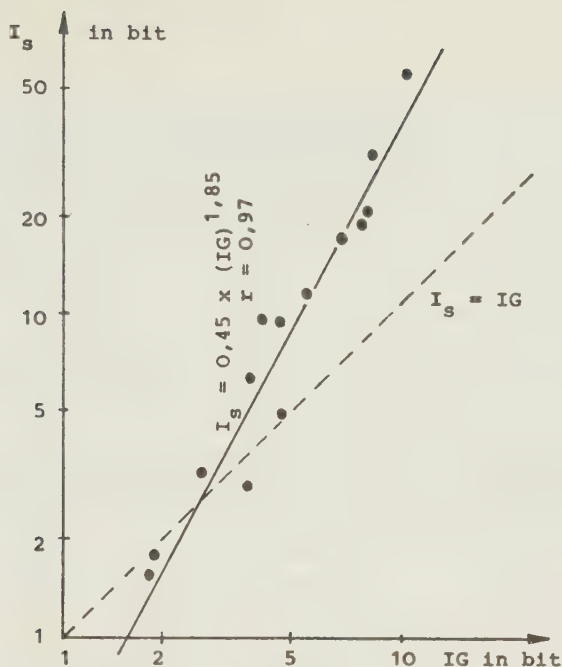


Abb. 34b: Vp.3 nach 120 Spielen mit einjähriger Pause nach 100 Spielen, I_s

Im Verlauf einer Spielserie nimmt der Exponent b der Glg. (34) bei der Vp.7 von $b = 2,81$ nach 5 Spielen (Abb. 33a) um 6% ab auf $b = 2,65$ nach 10 Spielen (Abb. 33b). Bei der Vp.3 fällt der Exponent $b = 2,23$ nach einjähriger Spielunterbrechung (Abb. 34a) um 17% auf $b = 1,85$ nach der Eingewöhnungsspielserie von Abb. 9 (Abb. 34b). Diese "informationelle Approximierung"¹ kann als ein (informationstheoretischer) Akkommodationsprozeß aufgefasst werden, innerhalb dessen sich die subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeiten $q_1(t)$ im Laufe der Zeit (t) einem festen Grenzwert q_1 nähern. Mit wachsender Spielerfahrung beurteilen die Problemlöser den Informationsgehalt der Anzeigen (informationstheoretisch) adäquater, der Graph dreht sich in Richtung der Winkelhalbierenden.

¹ Andonie, A.: Simulation eines Lernprozesses mit subjektiven Wahrscheinlichkeiten, in: GrKG 20/2 (1979), S. 45

Das sich während eines Approximationsprozesses ändernde subjektive Schema eines Empfängers bzgl. des Informationsgehaltes einer Nachricht kann nach Gunzenhäuser (75) durch die auf den Zeitabschnitt zwischen t_1 und t_2 bezogene Lernredundanz $R_L(t_1, t_2)$ erfasst werden ($t_1 < t_2$):

$$(36) \quad R_L(t_1, t_2) = \frac{H_{\text{sub}}(t_1) - H_{\text{sub}}(t_2)}{H_{\text{sub}}(t_1)} .$$

Die subjektive Entropie H_{sub} wird nach Glg. (35) berechnet und beträgt bei

Abb. 33a für Vp.7 nach 5 Spielen:

$$H_{\text{sub}}(\text{Vp.7}; t_1) = 7,55 \text{ bit} ;$$

Abb. 33b für Vp.7 nach 10 Spielen:

$$H_{\text{sub}}(\text{Vp.7}; t_2) = 5,71 \text{ bit} ;$$

Abb.34a für Vp.3 nach 100 Spielen und einjähr. Pause:

$$H_{\text{sub}}(\text{Vp.3}; t_1) = 3,83 \text{ bit} ;$$

Abb. 34b für Vp.3 nach der Eingewöhnungsspielserie:

$$H_{\text{sub}}(\text{Vp.3}; t_2) = 3,68 \text{ bit} ;$$

Abb. 35 für Vp.6 nach 100 Spielen:

$$H_{\text{sub}}(\text{Vp.6}) = 4,05 \text{ bit} .$$

Mit Glg. (36) ergibt sich für die Lernredundanz zwischen dem 6. und 10. Spiel bei der Vp.7:

$$R_L(\text{Vp.7}; t_1; t_2) = 24\%$$

und für die Lernredundanz in der Eingewöhnungsspielserie (vgl. z.B. Abb. 9) bei der Vp.3:

$$R_L(\text{Vp.3}; t_1; t_2) = 4\% .$$

Die Lernredundanz, die zeitliche Abnahme des Exzesses und der Exzess selbst (d.i. die Differenz $H_{\text{sub}} - H(x)$) sind bei dem relativ unerfahrenen Problemlöser (Vp.7) weitaus grösser als bei dem geübten Spieler (Vp.3). Dessen subjektive Entropie H_{sub} (Vp.3; t_2) hat sich nach 120 Spielen in Abb. 34b schon bis auf 0,85 bit dem objektiven mittleren Informationsgehalt $H(x) = 2,834$ bit (vgl. Kap. 3.6.) angenähert; die informationelle Approximierung erfolgt asymptotisch langsam, seine Lernredundanz für die Eingewöhnungsspielserie (!) - in ihr wird i.a. der relativ grösste Lerneffekt erwartet (vgl. z.B. den Effekt des sog. Warmwerdens in Foppa (75): Lernen, Gedächtnis und Verhalten. S. 190 ff.) - ist gering und beträgt bei 20 Spielen nur wenige Prozente.

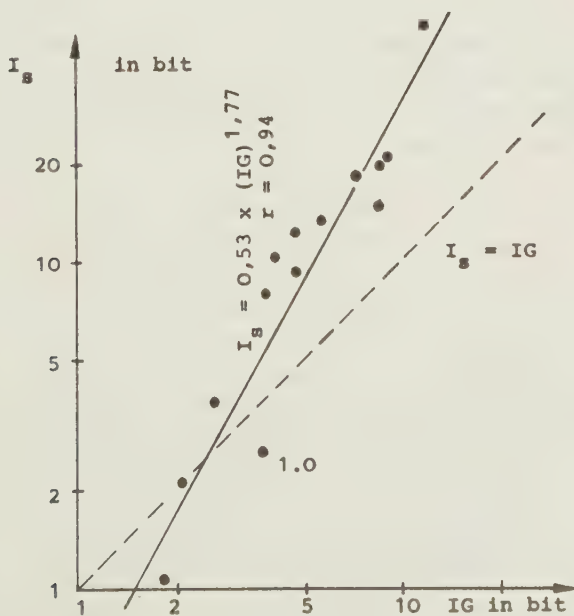


Abb. 35: Vp.6 nach 100 Spielen, I_s

In Abb. 35 ist für die Vp.6 nach 100 Spielen der normierte subjektive Informationsgehalt I_s der einzelnen Anzeigen nach dem ersten Zug aufgetragen gegen ihren objektiven Informationsgehalt IG.

Um die Ergebnisse dieses Kap. 5.2.3. zusammenfassend darzustellen, wird in den doppeltlogarithmischen Darstellungen von I_s gegen IG der Abb. 33 - 35 eine lineare Transformation derart durchgeführt, dass sowohl I_s als auch IG auf den Schnittpunkt des Graphens von I_s mit der Winkelhalbierenden $I_s = IG$ bezogen werden, der bei etwa 2,48 bit ($s = 6\%$) liegt. In der Abb. 36 sind die Ausgleichsgeraden der Abb. 33 - 35 in ein doppeltlogarithmisches Koordinatensystem mit der (logarithmischen) Ordinate $I_s/2,48$ und der (logarithmischen) Abzisse $IG/2,48$ eingetragen.

Die Ausgleichsgeraden schneiden sich in Abb. 36 (annähernd) in einem Punkt; die Glg. (34) für den funktionalen Zusammenhang zwischen dem subjektiven (I_s) und objektiven Informationsgehalt (IG) reduziert sich in dieser Darstellung auf die Gleichung

$$(37) \quad \frac{I_s}{2,48} = \left(\frac{IG}{2,48} \right)^b$$

Die in den Kap. 5.2.2. und 5.2.3. untersuchten Problemlöser unterscheiden sich in ihrer quantitativen Skalierung (auf Intervallskalenniveau) des Informationsgehaltes der einzelnen Anzeigen bei dem in diesem Kap. 5.2.3. angewandten Normierungsverfahren nur noch durch den Personenparameter b . Um mathematisch das psychologische Phänomen der Über- oder Unterschätzung näher zu erfassen, führen wir den Begriff der relativen Einschätzung e_r ein, indem wir den Quotienten aus subjektivem und objektivem Informationsgehalt bilden:

$$(38) \quad e_r = \frac{I_s}{IG} \quad ;$$

mit Glg. (37) folgt

$$(39) \quad e_r = \left(\frac{IG}{2,48} \right)^{b-1}$$

$e_r(IG)$ ist eine monoton steigende Funktion in IG , da $b > 1$ für alle Problemlöser gilt. $b-1$ ist ein Mass für die Überschätzung der Anzeigen bzgl. ihres Informationsgehaltes (I_s) durch die Versuchspersonen; $b-1 = 0$ bedeutet, dass der betreffende Problemlöser den Informationsgehalt weder unter- noch überschätzt, da der Graph auf der Winkelhalbierenden $I_s = IG$ liegt (vgl. Abb. 33 - 36). Je grösser $b-1$ ist, desto stärker ist die Abweichung von der Winkelhalbierenden. Anzeigen mit $IG > 2,48$ bit (rechts vom Schnittpunkt) werden i.a. überschätzt ($e_r > 1$) und mit $IG < 2,48$ bit unterschätzt ($e_r < 1$).

Der Abb. 36 ist zu entnehmen, dass die Graphen bzgl. des subjektiven Informationsgehaltes I_s sich mit wachsender Spielerfahrung um ihren Schnittpunkt in Richtung der Winkelhalbierenden drehen. Je grösser der objektive Informationsgehalt der Anzeigen ist (mit I_s ist IG hoch korreliert - vgl. Abb. 33 - 35), desto stärker weicht der subjektive Informationsgehalt (in der doppeltlogarithmischen Auftragung (1)) von der Winkelhalbierenden $I_s = IG$ ab. Diese Abweichung wird durch die relative Einschätzung e_r nach Glg. (39) beschrieben. Der Exponent $b-1$ beträgt bei

Vp.7 nach 5 Spielen:

$$b-1 = 1,81 \quad (\text{vgl. Abb. 33a}) \quad ;$$

Vp.7 nach 10 Spielen:

$$b-1 = 1,65 \quad (\text{vgl. Abb. 33b}) \quad ;$$

Vp.3 nach 100 Spielen und einj. Pause:

$$b-1 = 1,23 \quad (\text{vgl. Abb. 34a}) \quad ;$$

Vp.3 nach 120 Spielen:

$$b-1 = 0,85 \quad (\text{vgl. Abb. 34b}) \quad ;$$

Vp.6 nach 100 Spielen:

$b-1 = 0,77$ (vgl. Abb. 35)

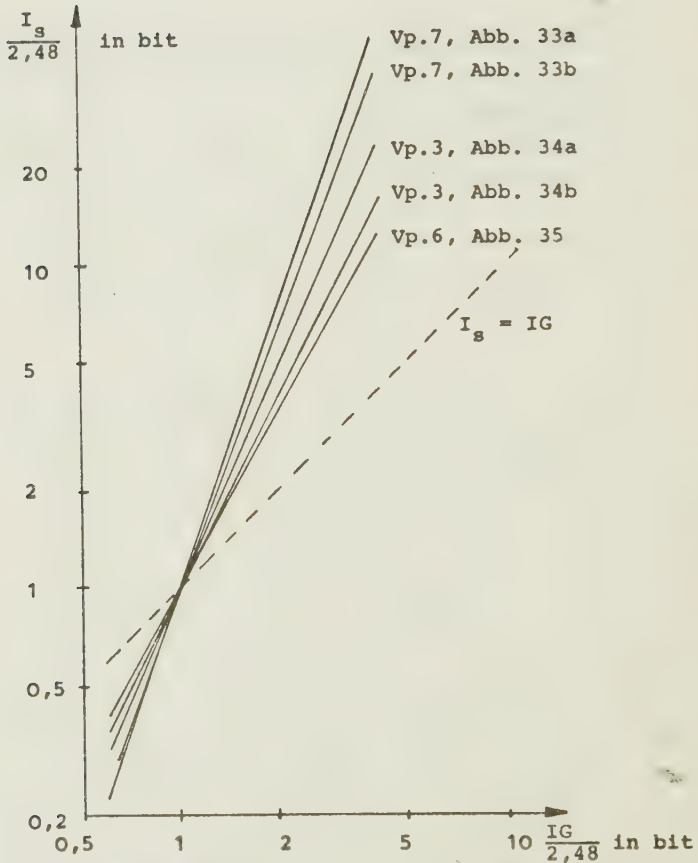


Abb. 36: Transformierter Graph des subjektiven Informationsgehaltes I_s ; die Steigung der Geraden entspricht in doppeltlogarithmischer Auftragung dem Exponenten b der Glg. (34), (37) u. (39).

5.3. Subjektive Auftretenswahrscheinlichkeit und subjektiver Informationsgehalt

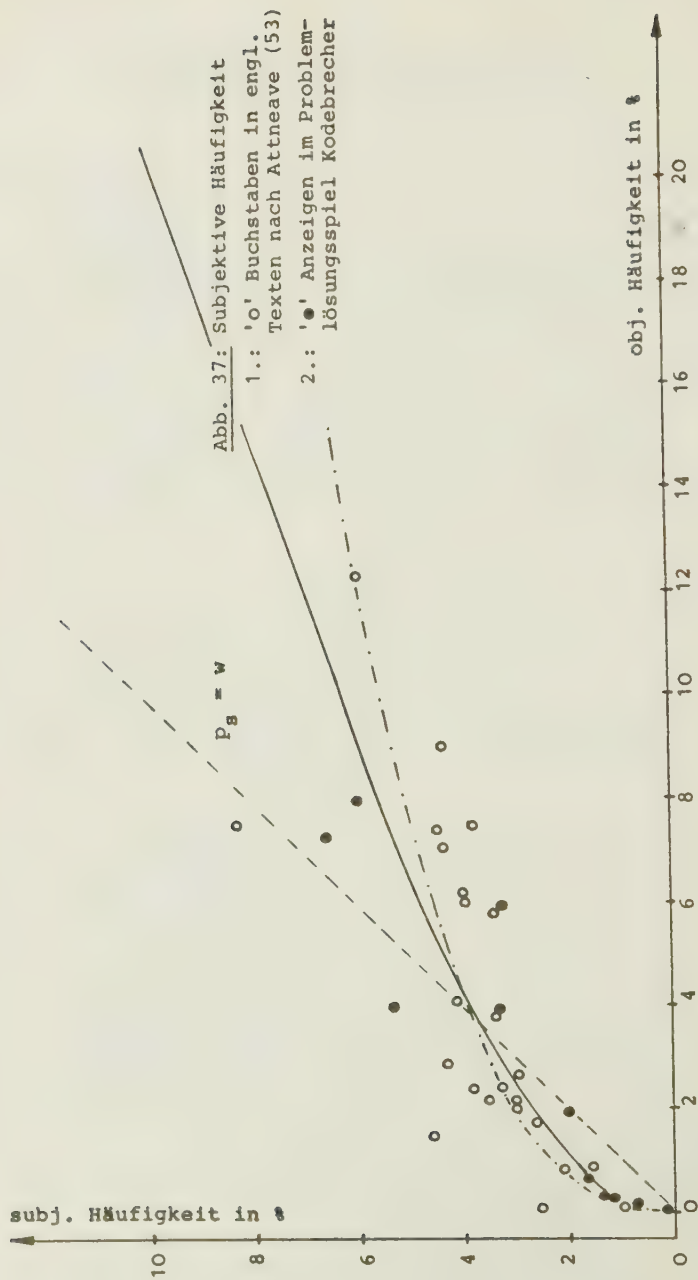
Nach 120 Spielen schätzte die Vp.3 (als einzige der hier vorgestellten Versuchspersonengruppe mit ausreichender Erfahrung) im Anschluss an die quantitative Skalierung des subjektiven Informationsgehaltes entsprechend den Abb. 30b und 34b die Auftretenswahrscheinlichkeit der einzelnen Anzeigen nach dem ersten Zug ein, indem sie angab, bei wieviel von 1000 Spielen sie die jeweilige Anzeige erwartete. Diese subjektive Auftretenswahrscheinlichkeit p_s ist in Abb. 37 als gefüllter Kreis ('●') aufgetragen gegen die objektive Auftretenswahrscheinlichkeit w nach Tab. 1 von Kap. 3.4.1. . Die Winkelhalbierende $p_s = w$ ist gestrichelt eingezeichnet.

Diese Einschätzung ermöglicht einen direkten Vergleich mit den praktisch einzig relevanten, bekannten Literaturwerten von Attneave (53) aus dem Jahre 1953, deren Reproduktion bis heute nicht gelang. Die von Attneave erhobenen Daten bzgl. der mittleren beurteilten (subjektiven) Buchstabenhäufigkeit in englischen Texten sind als offene Kreise ('○') in Abb. 37 eingetragen:

Der Graph der subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeit steigt in Abb. 37 zunächst steil an, um sich im weiteren Verlauf abzuflachen. Ereignisse mit niedriger Auftretenswahrscheinlichkeit werden bzgl. der Häufigkeit ihres Vorkommens überschätzt, während das Auftreten häufiger Ereignisse unterschätzt wird. Die beiden Graphen bzgl. der Beurteilung der Häufigkeit von Buchstaben in englischen Texten ('○') und der Einschätzung von Auftretenswahrscheinlichkeiten einzelner Anzeigen nach dem ersten Zug bei dem Problemlösungsspiel Kodebrecher ('●') verlaufen nahezu identisch.

¹ Anm.: Die Wertepaare sind der Abb. Fig. 1. auf S. 85 folgender Arbeit entnommen worden:

Attneave, Fred: Psychological probability as a function of experienced frequency, in: Journal of Experimental Psychology, Vol. 46 (1953), No. 2, S. 81 - 86



Der Buchstabe stellt ein Element der Schriftsprache dar, die im Laufe der Kindheit gelernt und täglich im Lesen und Schreiben ausgeübt wird.¹ Bei dem Problemlösungsverhalten im Problemlösungsspiel Kodebrecher handelt es sich um einen Kommunikationsprozess zwischen Mensch und Rechner, einem Mensch-Maschine-Mensch-Dialog (vgl. Kap. 3.1.1.) auf elementarer Zeichenbasis (vgl. Kap. 3.7.), der allgemein schnell gelernt (vgl. Kap. 5.1.) und von der Vp.3 mit über 100 Spielen oft praktiziert worden ist. Auf diesem Hintergrund betrachtet erscheint die analoge Beurteilung von (hier 'subjektiv' genannten) Auftretenswahrscheinlichkeiten bei Begriffen aus dem Schrift- bzw. Zeichenrepertoire (nicht im semantischen Sinne von Kap. 4.1.) der jeweiligen Sprache nicht nur verständlich zu sein, sondern ist nachgerade zu fordern.

Der Skalierungsprozess bzgl. der subjektiven Häufigkeiten kann (spekulativ) auf die Ausbildung eines inneren (organismus-internen) Abbildes (vgl. Kap. 2.3.) der das Lebewesen umgebenden quasi-physikalischen Welt (vgl. Kap. 1.) mit ihren mannigfachen Interdependenzen zurückgeführt werden, das die äusseren Verhältnisse (mehr oder minder adäquat) widerspiegelt und somit ein (psychologisches) Referenzsystem jegliches organismischen Handelns (besonders bei Skalierungsaufgaben (!)) darstellt. Sind die subjektiven Rasterungen bzgl. der Meßgrösse und des Maßes miteinander nicht kompatibel, kann ein Skalierungsprozess eo ipso nicht adäquat ausgeführt werden, da Wechselwirkungsprozesse auftreten, die sich z.B. in sog. 'Aspektverschiebungen' bei Ähnlichkeitsurteilen ausdrücken.

¹ Anm.: Auf den Begriff des Phonems in der gesprochenen Sprache soll in dieser Arbeit nicht eingegangen werden, obwohl die experimentelle Erfassung der subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeit dieser elementaren Bausteine einer Sprache u. U. bereits ohne gravierende Mittelungsprozesse (bei Attneave (53) wird der Median benutzt) zu (reliablen) adäquaten Ergebnissen führen könnte.

Attneave (53) wertet die von ihm erhobenen Daten (vgl. Abb. 37) in der Form aus, dass er die subjektiven und objektiven Häufigkeiten doppeltlogarithmisch aufträgt und nach der Kleinst-Quadrat-Methode die Ausgleichsgerade berechnet. Er findet folgenden mathematischen Zusammenhang zwischen der subjektiven (p) und objektiven Auftretenswahrscheinlichkeit (w):

$$(40) \quad p = 0,126 \times w^{0,36} \quad .$$

Wir gehen bei der Auswertung unserer Daten von Abb. 37 ($= '●'$) zunächst analog vor, indem wir nach Glg. (29) den subjektiven Informationsgehalt $I_s(p_s)$ der Anzeigen nach dem ersten Zug bei dem Problemlösungsspiel Kodebrecher für die Vp.3 aufgrund der subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeit p_s bestimmen. Dann allerdings wird in Abb. 38 $I_s(p_s)$ doppeltlogarithmisch (entsprechend dem Vorgehen in Kap. 5.2.3.) aufgetragen gegen den objektiven Informationsgehalt IG nach Tab. 2 in Kap. 3.6. . Die Winkelhalbierende $I_s(p_s) = IG$ ist in Abb. 38 gestrichelt eingezeichnet.

Die ohne die 3 Extremwerte (Anzeigen '4.0', '0.1' u. '0.2') bestimmte Ausgleichsgerade in Abb. 38 entspricht exakt der, um die auch die nach gleichem Auswertungsverfahren ermittelten Wertepaare von Attneave (vgl. Abb. 37: 'o') streuen. (Der Übersichtlichkeit halber sind diese nicht in Abb. 38 eingetragen.) Die Ausgleichsgerade verläuft mit der Steigung $b = 0,50$ wesentlich flacher als die Winkelhalbierende $I_s(p_s) = IG$. Der funktionale Zusammenhang zwischen der subjektiven (p_s) und objektiven Wahrscheinlichkeit (w) wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$(41) \quad p_s = 2^{(-(-\lg w)^{0,50} \times 2,2)} \quad .$$

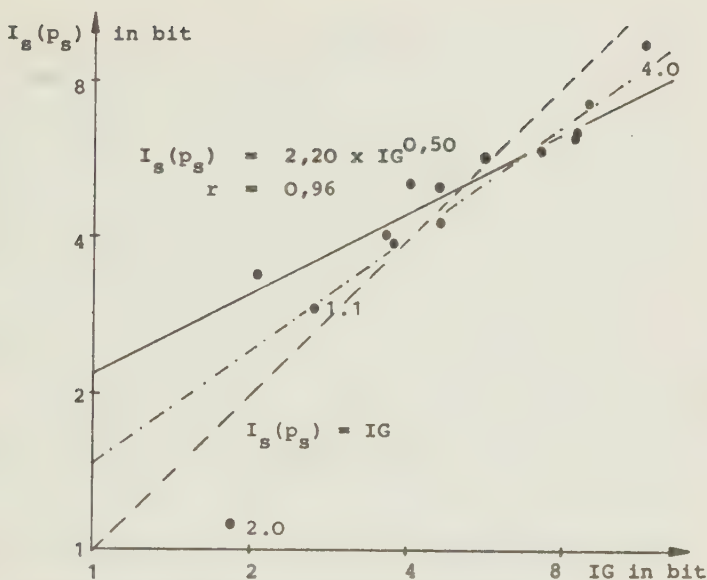


Abb. 38: Subjektiver Informationsgehalt $I_s(p_s)$ aufgrund von subj. Auftretenswahrscheinlichkeiten (Vp.3); die nicht eingetragenen Wertepaare von Attneave streuen um die eingezeichneten Ausgleichsgeraden (vgl. Abb. 37).

Der Graph $p_s(w)$ nach Glg. (41) ist als durchgezogene und der Graph $p(w)$ nach Glg. (40) als punktiert-gestrichelte Kurve in Abb. 37 eingetragen. Zunächst steigt $p(w)$ in Abb. 37 steil an, um ab etwa $w = 4\%$ unterhalb des Graphens $p_s(w)$ zu verlaufen, der anfänglich eine geringere Steigung aufweist. Die Winkelhalbierende und die beiden Graphen schneiden sich (annähernd) alle in einem Punkt bei $w = 4\%$. Die relative ordinale Abweichung der beiden Graphen beträgt im Intervall $0,1\% \leq w \leq 10\%$ weniger als 20%, die Kurvenzüge der Glg. (40) ($p(w)$) und der Glg. (41) ($p_s(w)$) verlaufen in diesem unteren Wahrscheinlichkeitsbereich hinreichend analog.

Den Leser mag zunächst der mathematisch kompliziertere rechte Term in Glg. (41) gegenüber den von Glg. (40) verwirren und ihm willkürlich erscheinen. Attneave (53) ermittelt subjektive Auftretenswahrscheinlichkeiten (durch Medianbildung (!)) in einem Intervall, das in der Größenordnung einer Zehnerdekade liegt, während in dieser Arbeit die subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeiten p_s einen Bereich von etwa $2 \frac{1}{2}$ Zehnerdekaden umfassen (vgl. Abb. 37). Eine doppeltlogarithmische Auftragung der Daten von Attneave entsprechend der von Abb. 38 ergibt (bei relativ starker Streuung) eine Anhäufung der Wertepaare bzgl. des subjektiven Informationsgehaltes in einem Intervall zwischen 4 und 7 bit;¹ aus diesem Grund ist ihm eine informationstheoretische Interpretation seiner Daten kaum möglich, wie sie hier erfolgt.

Die Ausgleichsgerade in Abb. 38 liefert primär eine zu Glg. (34) in Kap. 5.2.3. analoge Gleichung, die den funktionalen Zusammenhang zwischen dem subjektiven ($I_s(p_s)$) und objektiven Informationsgehalt (IG) beschreibt:

$$(42) \quad I_s(p_s) = 2,20 \times IG^{0,50} .$$

Mit dem Ersetzen des Informationsgehaltes durch die Auftretenswahrscheinlichkeit nach Glg. (29) geht Glg. (42) im Anschluss an das Auflösen der Gleichung nach der subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeit p_s elementar in die Glg. (41) über.

¹ Anm.: In der doppeltlogarithmischen Darstellung von Abb. 38 ist die Nivellierung durch das zweimalige Logarithmieren deutlich zu erkennen: Gegenüber Abb. 37 sind die grossen Unterschiede in Richtung auf eine Gleichverteilung hin nahezu verschwunden.

Die in Kap. 5.2.3. diskutierten Graphen liefern (bei direkter quantitativer Skalierung des subjektiven Informationsgehaltes) in doppeltlogarithmischer Auftragung eindeutig einen linearen Zusammenhang zwischen dem subjektiven (I_s) und objektiven Informationsgehalt (IG), der sich etwa über 100 bit erstreckt (vgl. Abb. 33 - 35). In jenen Diagrammen wird der Informationsgehalt von Anzeigen mit niedrigem Informationswert unter- und solcher mit hohem überschätzt; die Ausgleichsgerade verläuft mit einer Steigung $b > 1$ steiler als die Winkelhalbierende.

Die quantitative Skalierung der Auftretenswahrscheinlichkeiten führt in diesem Kap. 5.3. zu genau dem gegenläufigen Effekt: Häufige Anzeigen werden bzgl. ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit unterschätzt, weniger häufige überschätzt. (Vgl. Abb. 37: Die Winkelhalbierende $p_s = w$ trennt diese beiden Bereiche.) Damit folgt für den Zusammenhang zwischen subjektivem und objektivem Informationsgehalt als abgeleitete Größen aus ihren Auftretenswahrscheinlichkeiten entsprechend Glg. (29) automatisch der Verlauf des Graphen in Abb. 38: Hier werden die Anzeigen mit hohem Informationswert unter- und solche mit geringem überschätzt; die Ausgleichsgerade verläuft mit einer Steigung $b < 1$ flacher als die Winkelhalbierende $I_s(p_s) = IG$.

In Abb. 39 ist der bei gleicher Normierung (vgl. Kap. 5.2.3.: Glg. (28)) direkt eingeschätzte Informationsgehalt (I_s) nach Abb. 34b aufgetragen gegen den aus der subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeit p_s abgeleiteten ($I_s(p_s)$) entsprechend Abb. 38. Die Winkelhalbierende $I_s = I_s(p_s)$ ist gestrichelt eingezeichnet.

Bis auf die Anzeigen '0.2', '0.1' und '1.0', die bzgl. ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit am höchsten und bzgl. ihres Informationsgehaltes am niedrigsten vom Problemlö-

ser skaliert werden (Vp.3 beurteilt in der Nachexploration genau diese Einschätzungen als relativ unsicher (!)), liegen die Wertepaare in Abb. 39 bei doppeltlogarithmischer Auftragung sehr gut auf einer Ausgleichsgeraden. Der funktionale Zusammenhang zwischen dem direkt eingeschätzten (subjektiven) Informationsgehalt I_s und dem aus der subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeit p_s nach Glg. (29) abgeleiteten (subjektiven) Informationsgehalt $I_s(p_s)$ wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$(43) \quad I_s = 0,176 \times (I_s(p_s))^{2,53} \quad .1$$

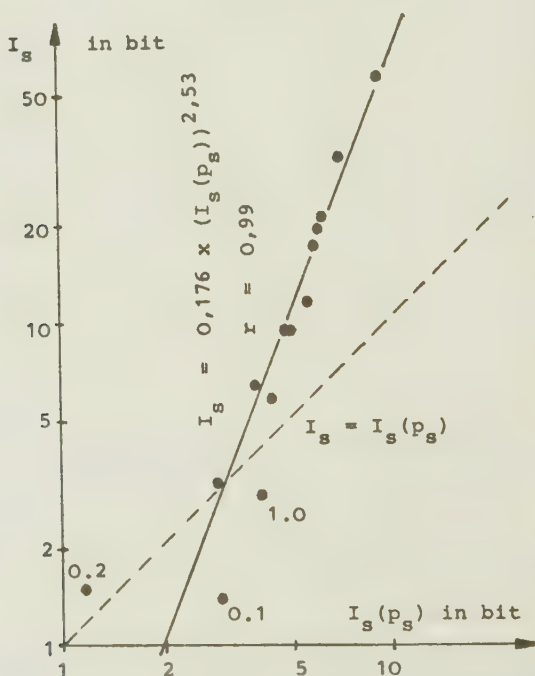


Abb. 39: Direkt eingeschätzter subjektiver Informationsgehalt (I_s) nach Abb. 34b gegen den aus der subjektiven Auftretenswahrsch. p_s entsprechend Abb. 38 abgeleiteten $I_s(p_s)$

Um diese Gleichung (43) und den Verlauf des Graphens von Abb. 39 zu verstehen und zu interpretieren, sei von folgender (spekulativen) Überlegung ausgegangen:

Nehmen wir an, dass unsere Versuchspersonen ihre quantitativen (faktoriellen) Einschätzungen (vgl. Kap. 4.3.1.) aufgrund eines internen Bezugssystems abgeben, das eine bestimmte maximale Anzahl von Dekaden umfasst (bei den hier vorgestellten Problemlösern etwa $2 \frac{1}{2}$ Zehnerdekaden - vgl. die betreffenden Diagramme in diesem Kap. 5.2.); das Verhältnis vom grössten zum kleinsten Wert liegt damit (innerorganismisch) fest und bildet eine Art Ankerreiz, auf den sich (implizit) alle übrigen Verhältnisbeurteilungen beziehen.

Bei der Ableitung des subjektiven Informationsgehaltes $I_s(p_s)$ aus der subjektiven Auftretenswahrscheinlichkeit p_s wird dieser Bereich des Bezugssystems entsprechend Glg. (29) logarithmisch (zur dualen Basis) auf ein kleineres Intervall abgebildet; die Anzahl der Dekaden bzgl. $I_s(p_s)$ reduziert sich auf etwa 30% der Anzahl derjenigen Dekaden, die sich bei der ursprünglichen Skalierung (p_s) aus dem Verhältnis der Einschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit des seltensten zum häufigsten Ereignis ergeben. Mit anderen Worten wird diejenige Achse um den Faktor 0,3 gestaucht, auf der die abgeleitete Grösse aufgetragen ist (Abzisse in Abb. 39).

¹Anm.: Mit der Ausgleichsgeraden von Abb. 34b und Glg. (43) folgt durch Elimination von I_s sofort ein Zusammenhang zwischen dem abgeleiteten subjektiven Informationsgehalt $I_s(p_s)$ und dem objektiven Informationsgehalt I_G , der durch folgende Gleichung beschrieben wird:

$$(44) \quad I_s(p_s) = 1,45 \times I_G^{0,73} \quad .$$

Der Verlauf dieses Graphens ist strich-punktiert in dem entsprechenden Diagramm von Abb. 38 wiedergegeben und stellt bei doppeltlogarithmischer Auftragung eine weitere Approximation der Daten durch eine Ausgleichsgerade dar, die allerdings nicht direkt durch eine Kleinst-Quadrat-Methode angepasst worden ist.

Berechnen wir den funktionalen Zusammenhang zwischen I_s (entsprechend der Ausgleichsgeraden in Abb. 34b) und $I_s(p_s)$ (nach Glg. (42)), indem wir IG eliminieren, so erhalten wir eine zu Glg. (43) analoge Exponentialgleichung:

$$(45) \quad I_s = a \times (I_s(p_s))^{3,7} ; \\ a = \text{const.} .$$

Der sich durch das Logarithmieren nach Glg. (29) (hypothetisch) ergebene (psychologische) reziproke Stauchungsfaktor 3,3 liegt gut zwischen den entsprechenden Exponenten $b = 2,5$ nach Glg. (43) und $b = 3,7$ nach Glg. (45).

Abb. 39 (vgl. obige Diskussion) zeigt eindeutig, dass ein einfacher logarithmischer Zusammenhang zwischen subjektiver Wahrscheinlichkeit und subjektiver Information entsprechend Glg. (29) nicht besteht (und phänomenologisch wohl auch nicht bestehen kann), wie er z.B. von Autoren der Zeitschrift "Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft" seit Jahrzehnten allgemein postuliert wird, sofern der subjektive Informationsgehalt indirekt aus der Skalierung subjektiver Auftretenswahrscheinlichkeiten erschlossen werden soll.¹ Die Anwendung von Glg. (29) ist z.B. zur Normierung nach Glg. (28) dann zulässig, wenn bereits subjektive Informationsgehalte von den Versuchspersonen angegeben werden (vgl. Kap. 5.2.3.). Die Umrechnung von subjektiven Wahrscheinlichkeiten p_s in subj. Informationsgehalte $I_s(p_s)$ entspricht einer monotonen, nicht linearen Transformation, die in logarithmischer Darstellung ein relativ breites Intervall auf ein schmaleres im Verhältnis (von etwa) 1 zu 0,3 bzgl. der (log.) Intervallbreite abbildet.

¹ Anm.: Die Anwendung der Glg. (29) in umgekehrte Richtung impliziert z.B. für den subj. Informationsgehalt von 66 bit (vgl. Abb. 33 u. 34) die unfassbar kleine subj. Wahrscheinlichkeit $w_s = 10^{-20}$, ein Wert, dem keine quantitative psychologische Bedeutung zuzumessen ist.

5.4. Ähnlichkeitsbeurteilung des Informationsgehaltes

Die indirekte Skalierungsmethode der komparativen Ähnlichkeitsbeurteilung gestattet es, psychologische Wechselwirkungsprozesse und Interdependenzen zwischen den jeweils paarweise (in sensu oder in vivo) vorgegeben Grössen zu bestimmen. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit (auch bei mehrdimensionaler Skalierung), aus den Ähnlichkeitsurteilen auf die absoluten psychologischen Parameter zu schliessen. (Vgl. z.B. Gregson (75): Psychometrics of Similarity .) Man versucht, über Ähnlichkeitsmodelle Faktoren zu ermitteln, die die vorgegebene Ähnlichkeitsmatrix optimal beschreiben. Dieses Vorgehen ist jedoch weder methodisch (Ähnlichkeitsmodell und Faktoren sind eo ipso miteinander korreliert) noch mathematisch (hier ist es vor allem das 'Fehlerproblem') einwandfrei gelöst; die Ergebnisse sind wenig reliabel, meist vieldeutig und schwierig zu interpretieren.

In diesem Kap. 5.4. wird der umgekehrte Weg beschritten und ein einfaches (!) mathematisches Ähnlichkeitsmodell vorgestellt, das den funktionalen Zusammenhang zwischen der Absoluteinschätzung und Ähnlichkeitsbeurteilung von Anzeigen bzgl. ihres Informationsgehaltes adäquat beschreibt. Dabei wird die (in Kap.5.2.3.a priori postulierte) Eindimensionalität der direkten quantitativen Skalierung des subjektiven Informationsgehaltes vorausgesetzt. Die aus jeweils zwei Absoluturteilen über das Modell abgeleiteten Ähnlichkeitsurteile werden verglichen mit den entsprechenden direkt von der Versuchsperson abgegebenen Ähnlichkeitsurteilen, um Fehleinschätzungen des Problemlösers und eventuell (bei ihm psychologisch vorliegende) Interdependenzen der Anzeigen bzgl. ihres Informationsgehaltes zu eruieren.

Der Problemlöser erhält über einen Zufallsgenerator paarweise zwei verschiedene Anzeigen vorgelegt. Die Versuchsanweisung lautet, ihre Ähnlichkeit bzgl. ihres Informationsgehaltes bei ihrem Erscheinen nach dem ersten Zug im Problemlösungsspiel Kodebrecher prozentual zu beurteilen; 100% bedeutet Identität (oberer Anker) und 0% vollständige Ungleichheit (unterer Anker). Jedes Paar wird zweimal vorgegeben, wobei die Reihenfolge der Anzeigen umgedreht ist.

Mit den 14 möglichen Anzeigen ergeben sich $14 \times 13 / 2$ verschiedene Paare; der Problemlöser hat also 182 Ähnlichkeitsurteile abzugeben (was mehrere Stunden dauert). Diese lassen sich in einer 14×14 -Matrix anordnen, in deren Hauptdiagonalen das Element '1' (= Identität) steht; theoretisch sollte diese Ähnlichkeitsmatrix streng symmetrisch sein. (Vgl. z.B. Zimmer-Schürings (76): Untersuchung eines restriktiven Modells psychologischer Ordnungsräume. Unveröffentlichte Dissertation an der Univ. Regensburg.)

Die Vp.6 ist als einzige der hier vorgestellten Problemlöser in der Lage, den Informationsgehalt der Anzeigen nach dem ersten Zug auf Rationalskalenniveau zu beurteilen. (Eine entsprechende 'Standardisierung' - vgl. Kap. 5.2.2. - des subjektiven Informationsgehaltes sIG braucht in Abb. 32 nicht vorgenommen zu werden.) Ihre (normierte) quantitative Skalierung des subjektiven Informationsgehaltes I_s weist die beste Annäherung an die Winkelhalbierende $I_s = IG$ in Abb. 36 auf (vgl. Abb. 35), obwohl die subjektive Entropie H_{sub} (Vp.6) etwa 10% über der von Vp.3 in Kap. 5.2.3. liegt. Die von der Vp.6 abgegebenen prozentualen Ähnlichkeitsurteile sind meist symmetrisch bzgl. der paarweise vorgegebenen Anzeigen und weichen (bis auf wenige Ausnahmen) maximal um 10% voneinander ab. Die arithmetischen Mittelwerte sind in der Ähnlichkeitsmatrix Tab. 7 oberhalb der Hauptdiagonalen eingetragen.

	0.2	0.1	1.1	1.0	0.3	1.2	0.0	2.0	2.1	3.0	0.4	1.3	2.2	4.0
0.2		90%	75%	80%	70%	35%	30%	75%	25%	15%	30%	25%	15%	2%
0.1	90%		70%	90%	45%	40%	85%	25%	15%	15%	30%	25%	10%	4%
1.1	69%	78%		80%	90%	70%	75%	70%	50%	30%	30%	35%	28%	20%
1.0	46%	53%	72%		90%	50%	60%	55%	30%	25%	30%	25%	15%	4%
0.3	44%	51%	70%	97%		80%	90%	85%	60%	35%	45%	40%	25%	20%
1.2	40%	46%	64%	91%	93%		30%	90%	70%	45%	40%	80%	40%	33%
0.0	33%	38%	54%	79%	82%	88%		55%	60%	60%	60%	55%	25%	35%
2.0	33%	38%	54%	79%	82%	88%	1		90%	60%	75%	85%	55%	30%
2.1	24%	29%	42%	63%	66%	72%	83%	83%		90%	85%	90%	70%	40%
3.0	16%	20%	29%	46%	48%	53%	63%	63%	79%		80%	90%	80%	75%
0.4	13%	15%	23%	37%	39%	43%	52%	52%	67%	87%		85%	65%	55%
1.3	12%	15%	22%	36%	38%	42%	51%	51%	65%	85%	98%		75%	75%
2.2	12%	14%	21%	34%	36%	40%	48%	48%	61%	81%	94%	96%		85%
4.0	8%	9%	14%	23%	24%	27%	33%	33%	44%	61%	72%	74%	78%	

Tab. 7: Ähnlichkeitsmatrix; oberhalb der Hauptdiagonalen die direkt abgegebenen Ähnlichkeitsurteile; unterhalb die modellmäßig abgeleiteten (siehe Text)

In Kap. 5.2.3. ist der (annähernd) lineare Zusammenhang zwischen dem (normierten) subjektiven (I_g) und dem objektiven Informationsgehalt (IG) der Anzeigen in doppeltlogarithmischer Darstellung aufgezeigt worden. Im folgenden betrachten wir die über die Funktionsgleichung der Ausgleichsgeraden in Abb. 35 für die Vp.6 berechneten Grössen als Schätzwerte X_1 des 'wahren' subjektiven Informationsgehaltes der Anzeige '1' mit dem objektiven Informationsgehalt IG(1):

$$\begin{aligned}
 (46) \quad X_1 &= 0,53 \times (IG(1))^{1,77} ; \\
 i &= 1, 2, \dots, 14 .
 \end{aligned}$$

$$(49) \quad e = \frac{2e_r}{(x_1 + x_j)^2} \sqrt{x_1^4 + x_j^4} ;$$

e_r = relat. mittl. Fehler bei der Skalierung des Informationsgehaltes
(= 8%) nach Abb. 35

Unterhalb der Hauptdiagonalen der Ähnlichkeitsmatrix von Tab. 7 sind die aus dem mathematischen Ähnlichkeitsmodell Glg. (47) abgeleiteten Ähnlichkeitsurteile eingetragen;¹ die Erwartungswerte X_1 und X_j ($i \neq j$) sind nach der Schätzfunktion Glg. (46) aus den objektiven Informationsgehalten IG(1) und IG(j) der Anzeigen '1' und 'j' nach Tab. 2 in Kap. 3.6. berechnet worden. Der mittlere absolute Fehler beträgt nach Glg. (49) durchschnittlich etwa $e = 10\%$ und nimmt von der linken unteren Ecke der Ähnlichkeitsmatrix (Zeile '4.0' und Spalte '0.2') ausgehend von $e = 14\%$ auf $e = 6\%$ bei Annäherung an die Hauptdiagonale ab.²

¹ Anm.: Setzen wir mit Attneave (53) (vgl. Kap. 5.3.) eine lineare Beziehung zwischen subjektivem und objektivem Informationsgehalt voraus, so ergibt sich statt Glg. (46) für den Erwartungswert X_1 des subjektiven Informationsgehaltes der Anzeige '1' mit dem objektiven Informationsgehalt oIG(1) folgende Schätzfunktion aus der Ausgleichsgeraden von Abb. 32 in Kap. 5.2.2. :

$$(46') \quad \begin{aligned} X_1 &= 0,58 \times \text{oIG}(1) - 0,054 ; \\ i &= 1, 2, \dots, 14 \end{aligned}$$

(Die Anzeige '4.0' wird nicht berücksichtigt; der lineare Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,95$.)

Wenden wir unser Ähnlichkeitsmodell $F(i,j)$ auf die Erwartungswerte entsprechend Glg. (46') an, weichen die so erhaltenen Werte beim Vergleich häufiger Anzeigen nur gering von den unterhalb der Hauptdiagonalen von Tab. 7 eingetragenen Ähnlichkeitsurteilen ab; jene werden allerdings bei seltenen Anzeigen graduell überschritten, was auf den Exponenten $b = 1,77 > 1$ in Glg. (46) zurückzuführen ist.

Der Vergleich zwischen den direkt abgegebenen Ähnlichkeitsurteilen (oberhalb der Hauptdiagonalen in Tab. 7) und den modellmässig nach Glg. (47) berechneten Werten (unterhalb der Hauptdiagonalen in Tab. 7) zeigt mässige Übereinstimmung. An dieser Stelle muss man allerdings die Aussage des Problemlösers berücksichtigen, dass ihm die prozentuale Beurteilung der Ähnlichkeit der Anzeigen bzgl. ihres Informationsgehaltes "immense" kognitive Schwierigkeiten bereitet habe. Vor allem habe er förmlich ein "Umspringen" seines subjektiven Standpunktes empfunden (und z. T. mehrere Minuten darauf warten müssen), wenn er z.B. im Anschluss an die Einschätzung eines Anzeigenpaares mit niedrigem Informationsgehalt an erster und hohem an zweiter Stelle ein solches zu beurteilen hatte, in dem die Reihenfolge umgekehrt war. Sehr oft habe auch ein anderer Aspekt des vorgegeben Paares zunächst als Bezugsanker gedient, und es habe dann grosser Willensanstrengung bedurft, die Anzeigen ausschliesslich bzgl. ihrer Ähnlichkeit im Informationsgehalt nach dem ersten Zug für das Problemlösungsspiel Kodebrecher zu beurteilen.

Die direkt abgegebenen und modellmässig berechneten Ähnlichkeitsurteile differieren relativ (im Sinne von 'verhältnismässig') am stärksten, wenn die Anzeige '1.0' einen Bestandteil des zur Einschätzung vorgelegten Anzeigenpaares darstellt. Dies wird sofort verständlich bei Betrachtung der Abb. 35: Auch dort wird die Anzeige '1.0' wenig adäquat eingeschätzt und weist die grösste Abweichung von der Ausgleichsgeraden auf.

²Aus der Annahme einer linearen Beziehung zwischen subj. und obj. Informationsgehalt (vgl. Glg. (46')) ergibt sich allerdings statt eines relativen Fehlers ein absoluter mittlerer Fehler $e_a = 4,3\%$ (vgl. Abb. 32). Der aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz berechnete mittlere Fehler

$$(49') \quad e = \frac{2e_a}{(x_1 + x_j)^2} \sqrt{x_1^2 + x_j^2}$$

ist sehr gross und übersteigt z.T. die Ähnlichkeitsurteile.

Schliessen wir die Anzeige '1.0' aus der weiteren Betrachtung aus, so lassen sich die 'unadäquat' abgegebenen Ähnlichkeitsurteile grob in 2 Kategorien bzgl. ihrer (auch visuell) empfundenen Nachbarschaft einteilen:

1. Überschätzung aufgrund eines (optisch) ähnlichen Eindrucks bei den Anzeigenpaaren 0.3/0.2, 1.3/1.2 und 1.3/2.1 ;
2. Unterschätzung aufgrund eines (optisch) unähnlichen Eindrucks bei den Anzeigenpaaren 0.0/1.2, 0.0/2.0, 0.0/2.2 und 0.4/2.2 .

Die starke Überschätzung der Ähnlichkeit bei den Anzeigenpaaren 2.0/0.4 und 2.0/1.3 mag auf die häufig gemeinsame Verwendung dieser Dyaden in der Kombinationsphase (vgl. Kap. 3.6.) zurückzuführen sein. Allgemein werden Anzeigen ähnlicher beurteilt, wenn ihr Informationsgehalt KIG für die Endphase (vgl. Tab. 3 in Kap. 3.7.) wenig differiert, während bei grossen Abweichungen in KIG die Anzeigen unähnlicher als vom Modell (Glg. (47)) gefordert eingestuft werden.

Zusammenfassend kann damit wohl gesagt werden, dass das (eindimensionale) Ähnlichkeitsmodell Glg. (47) im Rahmen der Messgenauigkeit von subjektiven Informationsgehalten die direkt abgegebenen Ähnlichkeitsurteile hinreichend adäquat widerzuspiegeln vermag, vor allem, wenn man bedenkt, welche kognitiven Schwierigkeiten dem Problemlöser die direkte prozentuale Skalierung der Ähnlichkeit bereitet.

6.

Das Rechnerprogramm

Das Programm für das Problemlösungsspiel Kodebrecher ist für den programmierbaren Taschenrechner TI-58/59 mit dem Standard-Software-Modul von Texas Instruments angegeben.¹ Die einzelnen Programmbefehle sind entsprechend ihrer Eingabe in den Programmspeicher spaltenweise aufgelistet. Besteht ein Befehl aus einer Kombination von mehreren Tastenbetätigungen, werden die jeweiligen Tasten durch ein 'blank' (= Leertaste) voneinander getrennt. Vor Eingabe des Programms schaltet man durch Drücken der Tasten '2nd CP' und 'LRN' in den Learn Modus, der nach Beendigung der Programmierung durch Betätigen der Taste 'LRN' wieder aufgehoben wird.

Speicherplatz	Tastenfolge	Speicherplatz	Tastenfolge
001	2nd Lbl	011	1 2
002	B	012	EE
003	STO	013	1
004	1 2	014	+/-
005	4	015	STO
006	STO	016	1 2
007	5	017	INV
008	2nd Lbl	018	2nd Int
009	EE	019	INV
010	RCL	020	SUM

¹ Anm.: Bei dem vorgestellten Algorithmus handelt es sich um eine modifizierte Form des Zahlenratespiel-Programms von Texas Instruments: PROGRAMMIERBARE TI-58/59 - Individuelles programmieren. Texas Instruments, 1977. IV-101 bis IV-106. Jenes Programm wurde korrigiert, bedienungsmässig vereinfacht (vgl. Kap. 4.3.) und zur Verkürzung der recheninternen Verarbeitungszeit umgestellt.

Speicherplatz	Tastenfolge	Speicherplatz	Tastenfolge
021	1 2	055	2nd Lbl
022	EE	056	CLR
023	0	057	CLR
024	0	058	2nd Dsz
025	x ₁ t	059	5
026	4	060	EE
027	STO	061	2nd Exc
028	6	062	1 3
029	2nd Lbl	063	2nd Fix
030	2nd Dsz	064	1
031	RCL 2nd Ind	065	R/S
032	6	066	B
033	2nd x=t	067	2nd Lbl
034	RCL	068	A
035	2nd Dsz	069	INV
036	6	070	2nd Fix
037	2nd Dsz	071	RCL
038	GTO	072	9
039	CLR	073	2nd CMs
040	2nd Lbl	074	2nd Pgm
041	RCL	075	1 5
042	RCL	076	E
043	6	077	2nd Lbl
044	x ₁ t	078	SUM
045	RCL	079	2nd Op
046	5	080	2 5
047	2nd x=t	081	2nd Lbl
048	CE	082	STO
049	.	083	RCL
050	2nd Lbl	084	5
051	CE	085	STO
052	1	086	6
053	SUM	087	2nd Prg
054	1 3	088	1 5

Speicherplatz	Tastenfolge	Speicherplatz	Tastenfolge
089	SBR	106	STO 2nd Ind
090	2nd D.MS	107	5
091	EE	108	RCL
092	1	109	5
093	2nd Int	110	$x \div t$
094	$x \div t$	111	3
095	CLR	112	2nd $x \div t$
096	2nd Lbl	113	SUM
097	2nd $x=t$	114	O
098	RCL 2nd Ind	115	R/S
099	6	116	B
100	2nd $x=t$	117	2nd Lbl
101	STO	118	C
102	2nd Dsz	119	STO
103	6	120	9
104	2nd $x=t$	121	A
105	$x \div t$		

Das Programm wird nach Eingabe einer Dezimalzahl aus dem (offenen) Intervall zwischen den beiden Zahlen '0' und '1' durch Betätigen der Taste 'C' aufgerufen (z.B. 0.34 als Eingabe). Die weitere Benutzung des hier dargestellten Algorithmus ist in Kap. 4.3.: Versuchsanweisung beschrieben.

7.

Anhang7.1. Bedingte Ziffernfolgen für den zweiten Zug

In diesem Kap. 7.1. werden die Auftretenswahrscheinlichkeiten der Rückmeldungen des Rechners nach dem ersten Zug entsprechend Tab. 1 in Kap. 3.4.1. elementar durch Kombinatorik hergeleitet.

Ohne Einschränkung der Allgemeinheit sei der erste Zug im Problemlösungsspiel Kodebrecher die Ziffernfolge '1234'. Die benötigten Variablen werden folgendermaßen bezeichnet (und entsprechend in Tab. 1.1 aufgeführt):

$x \in (5, 6, 7, 8, 9)$ (5 mögliche Werte);

$y \in (5, 6, 7, 8, 9), y \neq x$, (4 " ");

$z \in (5, 6, 7, 8, 9), z \neq y, z \neq x$, (3 " ");

$t \in (5, 6, 7, 8, 9), t \neq z, t \neq y, t \neq x$, (2 " ");

zunächst wird die Variable 'x', dann 'y', anschliessend 'z' und endlich 't' eingeführt.

Angegeben werden in Tab. 1.1. die durch den ersten Zug '1234' und die Rückmeldung 'M.N' des Rechners bedingten, noch möglichen Ziffernkombinationen; mit anderen Worten handelt es sich um die Elemente der durch die jeweiligen Anzeigen 'M.N' selektierten Teilmengen A_i nach Kap.3.4.2.. Die Anzahl dieser Elemente (oder möglichen Ziffernfolgen) bei der Rückmeldung 'M.N' wird $K(M.N)$ genannt.

Die Variation wird mit $P_r^n = n!/(n-r)!$ und die Kombination mit $C_r^n = n!/r!(n-r)!$ bezeichnet; $n, r \in \mathbb{N}$ und $n > r$.

Tabelle 1.1: Mögliche bedingte Ziffernkombinationen
und ihre Anzahl nach dem ersten Zug

<u>Anzeige</u> <u>(M.N)</u>	<u>mögliche bedingte</u> <u>Ziffernkombinationen</u>	<u>Anzahl der mögl. bed.</u> <u>Ziffernkomb. K(M.N)</u>
4.0	1234	1
2.2	1243 1432 1324 4231 3214 2134	6
1.3	1342 1423 4213 3241 2431 4132 3124 2314	8
0.4	2314 4321 2143 4312 3412 3142 4123 4132 4123	9
3.0	x234 1x34 12x4 123x	$C(4_3) \times P(5_1)$ $= 4 \times 5 = 20$

Tabelle 1.1: Fortsetzung

<u>Anzeige</u> <u>(M.N)</u>	<u>mögl. bed.</u> <u>Ziffernkomb.</u>	<u>Anzahl der mögl. bed.</u> <u>Ziffernkomb. K(M.N)</u>
2.1	124x	
	12x3	
	143x	
	1x32	
	1x24	12 x 5 = 60
	13x4	
	x231	$= C_2^4 \times (P_1^4 - 2) \times P_1^5$
	423x	
	32x4	
	x214	
	2x34	
	x134	
1.2	1x43	
	1x23	
	1x42	9 x 4 x 5 = 180
	13x2	$= C_2^3 \times P_1^3 \times P_1^4 \times P_1^5$
	14x2	$(P_1^4 = 4 \text{ als Faktor, weil}$
	14x3	$\text{nach der Ziffer '1' die '2'}$
	134x	$\text{festgehalten wird usw.})$
	142x	
	132x	
0.3	x123	
	x132	
	x142	
	x312	
	x413	11 x 4 x 5 = 120 =
	x412	$11 \times P_1^4 \times P_1^5$
	x341	$(P_1^4 = 4 \text{ als Faktor, weil}$
	x421	$\text{'x' anschliessen an die}$
	x321	$\text{zweite Stelle gesetzt wird}$
	x143	$\text{usf.})$
	x423	

Tabelle 1.1: Fortsetzung

<u>Anzeige</u>	<u>mögl. bed.</u>	<u>Anzahl der mögl. bed.</u>
<u>(M.N)</u>	<u>Ziffernkomb.</u>	<u>Ziffernkomb. K(M.N)</u>
=====		
2.0	12xy	
	1x3y	
	1xy4	$6 \times 4 \times 5 = 120$
	x23y	$= C_2^4 \times P_2^5$
	x2y4	
	xy34	

1.1	1x2y	$6 \times 4 \times 20 = 480$
	1xy2	$= 6 \times P_1^4 \times P_2^5$
	13xy	(P_1^4) als Faktor, weil
	1xy3	nach der Ziffer '1' die '2'
	14xy	festgehalten wird usf.)
	1xy4	

0.2	21xy	$7 \times 6 \times 20 = 840$
	x12y	$= 7 \times C_2^4 \times P_2^5$
	x1y2	$(C_2^4) = 6$ als Faktor, weil
	2x1y	nach dem Zahlenpaar '1'-'2'
	xy12	weitere mögl. Zahlenpaarkom-
	2xy1	binationen gebildet werden.)
	xy21	

1.0	1xyz	$4 \times 3 \times 4 \times 5 = 240$
	x2yz	$= C_1^4 \times P_3^5$
	xy3z	
	xyz4	

0.1	x1yz	$3 \times 4 \times 60 = 720$
	xy1z	$= (P_1^4 - 1) \times P_1^4 \times P_3^5$
	xyz1	(Faktor '4' wegen der Anordnung)

0.0	xyzt	$2 \times 3 \times 4 \times 5 = 120 = P_4^5$
=====		

8.

Zusammenfassung

Der Prozesscharakter menschlichen Problemlösungsverhaltens wird anhand des Spiels Kodebrecher in Kap. 3.1. als unsteuiger Mensch-Maschine-Dialog zwischen einer Versuchsperson und einem programmierten Taschenrechner erfasst: Auf die Phase der Informationsverarbeitung durch den Rechner folgt die durch den Menschen usf.. Die protokollierte Niederschrift dieses zeitlich sukzessiv ablaufenden irredundanten Kommunikationsprozesses spiegelt den menschlichen Informationsverarbeitungsprozess unmittelbar wider und stellt somit ein direktes Abbild des kognitiven Problemlösungsverhaltens dar.

In Kap. 3.4. wird zunächst der Problemlösungsprozess systemtheoretisch beschrieben und auf dieser Grundlage in Kap. 3.5. ein informationstheoretisches Modell entwickelt, das es gestattet, das Problemlösungsverhalten in die Phase der Informationsgewinnung und die der Informationsverwertung aufzugliedern. In den Kap. 3.6. und 3.7. wird der Informationsgehalt der Rückmeldungen des Rechners berechnet.

Durch den kognitiven Informationsverarbeitungsprozess nimmt die Entropie der Rückmeldungen des Rechners im Verlauf eines Spieles laufend zu. In Kap. 5.1. ergibt die modellgemäße Auswertung der Protokollbögen spezifische Unterschiede innerhalb der Stichprobe bei quantitativer Erfassung des Problemlösungsverhaltens; ein Lerneffekt innerhalb einer Spielserie wird demgegenüber nicht beobachtet, die angewandten Strategien erweisen sich als ausgesprochen rigide. Die diskutierten Maße sind während einer Spielserie relativ konstant; ihre Schwankungsbreite wächst mit abnehmender Qualität der Strategien an. Ein Teil ist als Streuung systembedingt auf die gequantelte Informationsaufnahme zurückzuführen, der personelle (und situative) Fluktuationen überlagert sind.

Nach der in Kap. 5.1. erörterten subjektiven Zufriedenheit mit dem Spielverlauf werden in den folgenden Kap. 5.2. - 5.4. weitere indirekt erhobene Maße zum Problemlösungsverhalten diskutiert, die den Versuchspersonen bewusst (und verbalisierbar) sind: Der subjektive Informationsgehalt, die subjektive Wahrscheinlichkeit und die Ähnlichkeit von Rückmeldungen des Rechners.

In Kap. 5.2. werden zwei Verfahren zur quantitativen Skalierung des subjektiven Informationsgehalts auf Rationalskalenniveau entwickelt. Objektiv hohe Informationsgehalte werden allgemein stark über- und niedrige unterschätzt. Die Problemlöser lernen im Verlauf einer Spielserie den Informationsgehalt der Rückmeldungen des Rechners adäquater zu beurteilen. Die Güte ihrer Einschätzungen ist positiv mit der Qualität ihres Problemlösungsverhaltens korreliert.

Die Auftretenswahrscheinlichkeiten häufiger Anzeigen werden in Kap. 5.3. unter- und die von seltenen überschätzt. Die Ergebnisse entsprechen einer experimentellen Untersuchung von Attneave (53) über die subjektive Häufigkeit von Buchstaben in englischen Texten. Die Daten in dieser Arbeit umfassen einen Bereich, der den jener Untersuchung um mehr als das Dreifache übersteigt; experimentell kann nicht zwischen einem exponentiell funktionalen Zusammenhang zwischen subjektiven und objektiven Informationsgehalt oder subjektiver und objektiver Auftretenswahrscheinlichkeit unterschieden werden.

Ein Vergleich zwischen subjektiver Auftretenswahrscheinlichkeit p und subjektivem Informationsgehalt I zeigt, dass die Gleichung $I = -\log p$ für (getrennt) direkt skalierte Größen nicht haltbar ist. In Kap. 5.3. ergibt sich experimentell ein Zusammenhang $I = 3 \times (-\log p)$, der auch phänomenologisch hergeleitet wird.

In Kap. 5.4. wird ein einfaches Ähnlichkeitsmodell für die Rückmeldungen des Rechners bzgl. ihrer Informationsgehalte vorgestellt und diskutiert. Die subjektiven Einschätzungen des Informationsgehaltes auf Rationalskalenniveau lassen sich elementar modellgemäss in Ähnlichkeitsurteile transformieren, die mit den Elementen der experimentell erstellten Ähnlichkeitsmatrix hinlänglich gut übereinstimmen.

Verzeichnis häufig verwandter Termini und Symbole

Erforderlichenfalls ist die Seite der Definition oder ersten näheren Beschreibung in Klammern angegeben.

a	: Anzahl der Züge in der Anfangsphase
A_1	: eingeschränkte Teilmenge der (noch möglichen) Ziffernkombinationen durch die Züge 1, ..., i . (S. 56)
A_0	: Ausgangsmenge aller (möglichen) Ziffernkombinationen (S. 55)
b	: Exponent zur Erfassung des subjektiven Informationsgehaltes I als Funktion des objektiven Informationsgehaltes IG (S. 156)
C_k^n	: Kombination von n über k
e	: Anzahl der Züge in der Endphase
H(x)	: Entropie = mittlere Information des Ereignisses x (S. 72)
IA	: Informationsaufnahme (S. 44)
ID(a)	: Informationsdichte bzgl. der Suchraumeinschränkung in der Anfangsphase (S. 94)
ID(a+u)	: Informationsdichte bzgl. der Suchraumeinschränkung bis zum Erreichen der Endphase (S. 94)
ID(u)	: Informationsdichte bzgl. der Suchraumeinschränkung in der Übergangsphase (S. 94)
IG	: objektiver Informationsgehalt in bit (S. 70)
IKD(a)	: Informationsdichte bzgl. der Kombinationsphase in der Anfangsphase (S. 95)
IKD(a+u)	: Informationsdichte bzgl. der Kombinationsphase bis zum Erreichen der Endphase (S. 95)

IKD(n-1)	: Informationsdichte bzgl. der Kombinationsphase bis zur Bestimmung der gesuchten Geheimzahl (S. 95)
IKD(u)	: Informationsdichte bzgl. der Kombinationsphase in der Übergangsphase (S. 95)
IO	: Informationsoutput (S. 45)
$I_s(i)$	: $(= -\lg q_i)$ Subjektiver Informationsgehalt der Anzeige 'i' in bit, berechnet aus der normierten subjektiven Wahrscheinlichkeit q_i . (S. 147)
$I_s(p_s)$	: $(= -\lg p_s)$ Subjektiver Informationsgehalt der Anzeige 'i' aufgrund der direkt eingeschätzten subjektiven Wahrscheinlichkeit p_s . (S. 162)
IV	: Informationsverarbeitung (S. 44)
I(x)	: mittlerer Informationsgehalt der Anzeigen bzgl. der Kombinationsphase bei stochastisch unabhängigen Zügen (S. 77)
ld	: logarithmus dualis (S. 70)
M.N	: Anzeige im Display des Rechners (S. 52)
n	: Gesamtzahl der Züge bis zur Bestimmung der Geheimzahl
oIG	: objektiver relativer Informationsgehalt in % bzgl. der Suchraumeinschränkung (S. 70)
oKIG	: objektiver relativer Informationsgehalt in % bzgl. der Kombinationsphase (S. 76)
P	: psychologische Person
p	: subjektive Wahrscheinlichkeit
p(A/B)	: (bedingte) Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses A unter der Voraussetzung, dass das Ereignis B (mit positiver Wahrscheinlichkeit) schon eingetreten ist.
P_k^n	: Permutation von n über k

p_s	: direkt eingeschätzte subjektive Auftretenswahrscheinlichkeit
q_1	: aufgrund des direkt eingeschätzten subjektiven Informationsgehaltes der Anzeige '1' berechnete Auftretenswahrscheinlichkeit (S. 146)
R	: Reaktion
r_s	: Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
S	: Ausgangssituation
s	: Standardabweichung
s_1	: Standardabweichung bei 1 stochastisch unabhängigen Zügen nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz (S. 73 und 77)
$sIG(M.N)$	: subjektiver standardisierter Informationsgehalt der Anzeige 'M.N' (S. 139)
tI	: totale Information für die Suchraumeinschränkung bis zum Erreichen der Endphase (S. 92)
tIK	: totale Information für die Kombinationsphase bis zur Bestimmung der gesuchten Geheimzahl (S. 93)
U	: psychologische Umgebung
u	: Anzahl der redundanten Züge (in der Übergangsphase) (S. 66)
V	: Verhalten
w	: objektive Auftretenswahrscheinlichkeit
$w(A_1)$	: objektive Wahrscheinlichkeit, die Teilmenge A_1 durch die betreffende Anzeige stochastisch unabhängig zu selektieren (S. 59)
$w(A_1/A_{1-1})$	: (bedingte) objektive Wahrscheinlichkeit, die Teilmenge $A_1 \subset A_{1-1}$ zu selektieren, unter der Voraussetzung, dass die Ausgangsmenge durch die Züge 1, ..., (1-1) bereits auf ihre Teilmenge A_{1-1} eingeschränkt worden ist. (S. 59)

- w_1 : objektive Wahrscheinlichkeit der Anzeige '1' (S. 146)
- $w(1)$: Wahrscheinlichkeit, eine Teilmenge zu selektieren, die 1 Elemente umfasst (S. 64)
- $w(M.N)$: objektive Auftretenswahrscheinlichkeit der Anzeige 'M.N' nach dem ersten Zug (S. 52 ff)
- z_i : i-ter Zug

Literaturverzeichnis

- Ach, N. : Begriffsbildung und Suchmethode. In: Graumann, C. F.: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969, S. 335 - 358
- Andonie, A. : Simulation eines Lernprozesses mit subjektiven Wahrscheinlichkeiten. In: Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft 20/2 (1979), S. 45 - 50
- Attneave, F. : Psychological probability as a function of experienced frequency. In: Journal of Experimental Psychology, Vol. 46 (1953), No. 2
- Attneave, F. : Informationstheorie in der Psychologie. Huber Verlag, Bern 1965
- Balmer, H. : I Die europäische Tradition. Die Psychologie des 20. Jahrhunderts. (Herausg.) Kindler Verlag, Zürich 1977
- Birbaumer, N. : Physiologische Psychologie. Springer Verlag, Berlin 1975
- Birch, H. G. : Die negative Wirkung vorhergehender Erfahrung auf das produktive Denken. Rabinowitz, H. S. In: Graumann, C. F.: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969, S. 265 - 270
- Bourne, L. E. : Cognitive Processes. Dominowski, R. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Loftus, E. New Jersey 1979
- Claparède, E. : Die Entdeckung der Hypothese. In: Graumann, C. F.: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969, S. 109 - 115
- Dörner, D. : Informationsverarbeitung beim Konzepterwerb. In: Zeitschrift für Psychologie, Band 174 (1967), Heft 3/4, Lutz, W. S. 194 ff. Meurer, K.
- Dörner, D. : Die kognitive Organisation beim Problemlösen. Huber Verlag, Bern 1974
- Dörner, D. : Problemlösen als Informationsverarbeitung. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 1976
- Duden : Fremdwörterbuch. Bibliographisches Institut Mannheim. Dudenverlag 1974, S. 710

- Foppa, K. : Lernen, Gedächtnis, Verhalten. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1975
- Frank, H. G. : Kybernetische Grundlagen der Pädagogik. Agis-Verlag, Baden-Baden 1969
- Geuss, H. : Modelle der Informationsverarbeitung und ihre Bedeutung für das Verständnis kognitiver Entwicklungsprozesse. In: Ueckert, H. und Rhenius, D.: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1979, S. 88 - 97
- Gregson, R. : Psychometrics of Similarity. Academic Press, New York 1975
- Groner, R. : Hypothesen im Denkprozess - Grundlagen einer verallgemeinerten Theorie auf der Basis elementarer Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1978
- Groner, R. : Die Analyse von Denkstrategien auf der Grundlage kognitiver Elementaroperationen. In: Ueckert, H. und Rhenius, D.: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1979, S. 134 - 144
- Guilford, J. P. : Intelligence, Creativity, and their Educational Implications. R. Knapp (Publ.), San Diego 1968
- Gunzenhäuser, R. : Maß und Information als ästhetische Kategorien. Agis-Verlag, Baden-Baden 1975
- Hagendorf, H. : On the acquisition of structures in problem solving processes. In: Zeitschrift für Psychologie, Band 186 (1978), Heft 1, S. 64 - 69
- Hardtwig, E. : Fehler- und Ausgleichsrechnung. Bibliographisches Institut (BI 262/262a), Mannheim 1968
- Hesse, F. W. : Alternative Ansätze zur Entwicklung heuristischer Strategien für den Bereich des schlussfolgernden Denkens. In: Ueckert, H. und Rhenius, D.: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1979, S. 153 - 161

- Janke, W. : Psychophysiologische Grundlagen des Verhaltens. In: Kerekjarto, M.,: Medizinische Psychologie. Springer Verlag, Berlin 1976, S. 1 - 101
- Kirchner, H. : Hypothesenbildung und heuristische Techniken in Problemlösungsprozessen. In: Zeitschrift für Psychologie, Bd. 179 (1971), Heft 1, S. 1 - 36
- Klaus, G. : Wörterbuch der Kybernetik. Dietz Verlag Berlin 1968, S. 634 - 638
- Klix, F.
Rautenstrauch-Goede, K. : Struktur- und Komponentenanalyse von Problemlösungsprozessen. In: Zeitschrift für Psychologie, Band 174 (1967), Heft 3/4, S. 167 - 193
- Klix, F.
Krause, B. : Zur Definition des Begriffs 'Struktur', seiner Eigenschaften und Darstellungsmöglichkeiten in der Experimentalpsychologie. In: Zeitschrift für Psychologie, Band 176 (1969), Heft 1/2, S. 22 - 54
- Klix, F. : Information und Verhalten. Huber Verlag, Bern 1973
- Klix, F. : Über Grundstrukturen und Funktionsprinzipien kognitiver Prozesse. In: Klix, F.: Psychologische Beiträge zur Analyse kognitiver Prozesse. Kindler Verlag, München 1976, S. 9 - 56
- Krause, B.
Lander, H. J.
Menzel, G. : Über einen Dekompositionsansatz zur Herausbildung von Entscheidungsstrukturen beim Problemlösen. In: Zeitschrift für Psychologie, Band 184 (1976), Heft 2, S. 268 - 277
- Kreyszig, E. : Statistische Methoden und ihre Anwendung. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1974
- Leeper, R. W. : Lewin's Topological and Vector Psychology. A Digest and a Critique. University of Oregon, 1949
- Lehmann, E. : Zur Einbeziehung von Lernprozessen in Problemlösungsmodelle. In: Zeitschrift für Psychologie, Band 182 (1974), Heft 2, S. 170 - 179
- Lewin, K. : Gesetz und Experiment in der Psychologie. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 1967

- Lewin, K. : Grundzüge der topologischen Psychologie. Huber Verlag, Bern 1969
- Lexikon der Psych. : Herder Verlag, Freiburg 1976
- Maier, N. R. F. : Das Denken beim Menschen. In: Graumann, C.F.: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969, S. 241 - 264
- Maier, S.
Rey, E.-R. : Eine experimentelle Untersuchung über Strategielernen denkgestörter Schizophrener. In: Psychologische Forschung, Band 36 (1974), S. 359 - 374
- Maltzman, I. : Denken in behavioristischer Sicht. In: Graumann, C. F.: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969, S. 86 - 100
- Massaro, D. W. : Experimental Psychology and Information Processing. Mc. Nally College Publishing Co., Chicago 1975
- Metzger, W. : Psychologie. Die Entwicklung ihrer Grundannahmen seit der Einführung des Experiments. Steinkopff Verlag, Darmstadt 1963
- Mittenecker, E.
Raab, E. : Informationstheorie für Psychologen. Hogrefe Verlag, Göttingen 1973
- Neel, A. : Handbuch der psychologischen Theorien. Kindler Verlag, München 1974
- Norman, D. A.
Rumelhart, D. E. : Explorations in Cognition. Freeman & Co., San Francisco 1975
- Popper, K. R. : Objektive Erkenntnis. Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg 1974
- Prim, R.
Tilmann, H. : Grundlagen einer kritisch-rationalen Sozialwissenschaft. Quelle & Meyer (UTB 221), Heidelberg 1977
- Rohracher, H. : Gedächtnis und Lernen. In: Meili, R. und Rohracher, H.: Lehrbuch der experimentellen Psychologie. Huber Verlag, Bern 1972, S. 115 - 171

- Saussure, F. : Grundfragen der allgemeinen Sprachwissenschaft. De Gruyter Verlag, Berlin 1967
- Schäfer, R. E. : Mathematische Entscheidungstheorie und kognitive Strategien der Informationsverarbeitung. In Ueckert, H. und Rhenius, D.: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1979, S. 391 - 400
- Schaff, A. : Sprache und Erkenntnis. Europa Verlag. Wien 1964
- Seidel, R. : Objektive Beschreibung von Problemen und Beurteilung von Problemlösungsprozessen an Hand exakter Bewertung der Problemzustände - dargestellt am Schachspiel. In: Zeitschrift für Psychologie, Band 185 (1977), Heft 3/4, S. 434 ff.
- Sieber, M. : Zur Zuverlässigkeit von Eigenangaben bei einer Fragebogenuntersuchung. In: Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, Band 26 (1979), Heft 1, S. 157 - 167
- Siegel, S. : Nonparametric statistics for the behavioral sciences. McGraw-Hill Book Co., New York 1956
- Süllwold, F. : Bedingungen und Gesetzmäßigkeiten des Problemlösungsverhaltens. In: Graumann, C. F.: Denken. Kiepenheuer und Witsch Verlag, Köln 1969, S. 273 - 295
- Sydow, H. : Experimentalpsychologische Untersuchungen von Denkprozessen. In: Zeitschrift für Psychologie, Band 186 (1978), Heft 4, S. 455 - 470
- Taylor, D. W.
Faust, W. L. : Zwanzig Fragen. In: Graumann, C. F.: Denken. Kiepenheuer & Witsch Verlag, Köln 1969, S. 306 - 317
- Texas Instr. : Programmierbare TI-58/59 - Individuelles Programmieren. (Handbuch) Texas Instruments 1977

- Ueckert, H. : Systemtheoretische Ansätze zur Theorie des Problemlösens. In: Zeitschrift für Psychologie, Band 183 (1975), Heft 1, S. 82 - 95
- Ueckert, H. : Nicht-deterministisches, nicht-probabilistisches Denken und Erkennen: Possibilistische kognitive Prozesse. In: Ueckert, H. und Rhenius, D.: Komplexe menschliche Informationsverarbeitung. Huber Verlag, Bern 1979, S. 59 - 70
- Walcher, K. P. : Objektive Beschaffenheit einer Denkaufgabe und interne Repräsentation ihres Lösungszustandes. In: Archiv für Psychologie, Band 132 (1978), S. 1 - 19
- Wundt, W. : Grundriß der Psychologie. Kröner Verlag, Leipzig 1914



Lebenslauf

Ich wurde am 13.06.1947 als erstes von zwei Kindern des kaufmännischen Angestellten Werner Wickboldt und seiner Ehefrau, Eva Anita Wickboldt, geb. Lawerenz, in Itzehoe geboren.

Von 1953 bis 1957 besuchte ich die Oberdorfschule und anschliessend den naturwissenschaftlichen Zweig des Max-Planck-Gymnasiums in Dortmund. Nach dem Abitur (1966) verpflichtete ich mich als Soldat auf Zeit für zwei Jahre bei der Bundeswehr.

Seit dem Sommersemester 1968 studiere ich Physik an der Wilhelmsuniversität in Münster und nach dem Diplom im Fach Physik im Jahre 1974 auch Psychologie. 1976 legte ich die Vorprüfung und 1978 die Diplomhauptprüfung für Psychologen ab.

Seit dem 1.11. 1979 bin ich als wissenschaftlicher Angestellter im Rahmen eines Forschungsauftrages (Leitung: Prof. Dr. H. Kallina) am Psychologischen Institut, Abteilung Allgemeine Psychologie, tätig.





